

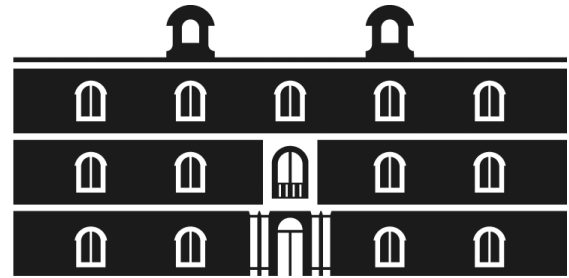
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA ELECTRÓNICA



Universidad
Politécnica
de Cartagena



industriales
etsii UPCT

PROYECTO FIN DE CARRERA

**“Diseño y construcción de un avión no tripulado basado en sistemas
y dispositivos COTS”**

Titulación: Ingeniero Técnico Industrial.
Intensificación: Electrónica Industrial.
Alumno: Mateo Riquelme Bernal.
Director: D. Joaquín Roca González.

Cartagena, Septiembre de 2013

INDICE

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Resumen.....	1
1.2. Objetivos.	3
1.3. Introducción al aeromodelismo.	3
1.3.1. Historia del aeromodelismo.....	4
1.3.2. Características del aeromodelismo.....	6
1.3.3. Funcionamiento básico del aeromodelo.....	16
1.4. Introducción a los UAVs.	18
1.4.1. Historia de la aviación no tripulada.....	18
1.4.2. El UAV frente a la aviación tripulada.....	30
1.4.3. Clasificación de los UAVs.....	32
1.4.4. Campo de aplicación de los UAVs.	36
1.4.5. Los UAVs en el Espacio Aéreo y marco regulatorio.....	38
1.5. Organización de la memoria.	39
 CAPITULO 2. Descripción de componentes del UAV.....	 41
2.1. Aeromodelo y equipación.	41
2.1.1. Aeromodelo.....	41
2.1.2. Motor.	46
2.1.3. Etapa de Potencia o ESC (Electric Sistem Control).....	49
2.1.4. Hélices.	51
2.1.5. Servomotores.	53
2.2. Baterías.....	56
2.3. Emisora radiocontrol.....	62
2.4. Piloto automático.....	64
2.5. Adquisición, transmisión y visualización de video en tiempo real.....	70
 CAPITULO 3. Selección de componentes del UAV.	 73
3.1. Aeromodelo y equipación.	73

3.1.1. Aeromodelo.....	73
3.1.2. Motor.	78
3.1.3. Etapa de potencia o ESC.....	81
3.1.4. Hélices.	83
3.1.5. Servomotores.	85
3.1.6. Accesorios de montaje, cables, conectores,	88
3.2. Baterías.....	88
3.2.1. Batería de potencia del UAV.	89
3.2.2. Batería electrónica de abordó.....	90
3.2.3. Batería Emisora.	91
3.2.4. Batería estación base.	92
3.2.5. Cargador de baterías.	94
3.3. Emisora de Radiocontrol.	95
3.4. Piloto Automático.	96
3.5. Telemetría bidireccional.....	98
3.6. Adquisición, transmisión y visualización de vídeo en tiempo real.....	101
3.6.1. Cámara.	101
3.6.2. Pan and till.....	105
3.6.3. Tx-Rx Video.....	106
3.6.4. Vídeo Gafas.	109
3.6.6. Capturadora de vídeo USB.	111
3.7. Presupuesto.	112
 CAPITULO 4. Montaje del Aeromodelo y primeras pruebas de vuelo.	 113
4.1. Montaje del Aeromodelo.	113
4.2. Centro de gravedad y peso del aeromodelo.	157
4.3. Configuración de la emisora de radiocontrol.....	159
4.4. Test de consumo.	164
4.5. Primeras pruebas de vuelo.....	166
4.6. Tren de aterrizaje: Construcción, instalación y pruebas.	168
4.6.1. Construcción e instalación.	169

4.6.2. Pruebas de vuelo con tren de aterrizaje.	173
CAPITULO 5. Montaje del sistema de video y pruebas de vuelo FPV.	176
5.1. Instalación del sistema de video.	176
5.1.1. Montaje del pan and till.	176
5.1.2. Montaje del transmisor de video.	181
5.1.3. Cable de conexión cámara-transmisor de video y últimas operaciones.....	184
5.2. Configuración GoPro.	187
5.3. Prueba de vuelo FPV.	188
CAPITULO 6. Ardupilot Mega: Configuración, implementación y pruebas.....	190
6.1. Configuración APM.....	190
6.1.1. Alimentación APM y periféricos.	191
6.1.2. Instalación y configuración del driver del circuito FTDI.	192
6.1.3. Carga del firmware.	193
6.1.4. Calibración emisora de radiocontrol.	195
6.1.5. Calibración magnetómetro.	198
6.1.6. Configuración de los modos de vuelo.	200
6.1.7. Configuración de Parámetros.....	207
6.1.8. Configuración de Waypoints.	210
6.2. Instalación del A.P.M. en el avión.	212
6.3. Pruebas de vuelo con APM.	215
6.3.1. Antes de volar.	215
6.3.2. Primer vuelo.	216
CAPITULO 7. Conclusiones y trabajos futuros.....	223
ANEXO I: Planos SkyWalker.....	226
ANEXO II: Esquema de conexiones.....	228
BIBLIOGRAFIA.....	229

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN.

1.1. Resumen.

En los últimos años la aeronáutica está viviendo un periodo de transición, en el que las aeronaves son cada vez más autónomas, hasta punto de plantearse la necesidad de una tripulación, de ahí la reciente aparición de los Vehículos Aéreos no Tripulados.

El presente Proyecto Fin de Carrera forma parte de un proyecto más ambicioso llamado “Proyecto Dédalo”, llevado a cabo por el Centro Universitario de la Defensa (CUD) en colaboración con la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT).

El citado proyecto tiene como objetivo el desarrollo de un Vehículo Aéreo no Tripulado o UAV (Unmanned Aerial Vehicle), con dos funciones principales, la primera será el vuelo completamente autónomo y la segunda la posibilidad de realizar vuelos en primera persona o FPV (First Person View). Una vez implementado el UAV se desarrollaran aplicaciones en el entorno de las Tecnologías de Doble Uso, es decir, aplicaciones en el ámbito civil y militar.

Para la consecución de los citados objetivos, el Proyecto Dédalo se subdivide en tres subproyectos, cada uno de ellos se corresponde con un PFC y serán los siguientes:

- Diseño e implementación de un banco de pruebas para los sistemas electrónicos de piloto automático y control de vuelo en primera persona de un vehículo aéreo no tripulado, realizada por el alumno Miguel Andrés Martínez Martínez.

El diseño e implantación del piloto automático mediante Ardupilot Mega, una aplicación de código abierto desarrollada por DIYDRONES. La configuración de dicho dispositivo abarca cada uno de los siguientes objetivos:

Simulación. Mediante el siguiente software: Xplane9 y FlighGear . La simulación desarrolla los distintos modos de vuelo con diferentes parámetros de control durante las pruebas.

Modo real. Instalación y configuración de los distintos sensores del avión no integrados en la placa, comprobando posteriormente su correcto funcionamiento en una prueba al aire libre.

Adquisición de datos. Mediante la aplicación APM planner se realiza la extracción de todos los datos almacenados en el microcontrolador durante el funcionamiento de la placa (ya sea en simulación o en casos reales).

- Sistema para la telemetría y el control de una aeronave no tripulada utilizando eficientes protocolos abiertos de comunicación inalámbrica, realizada por José Antonio Rubio Sáez.

En este PFC se implementa un sistema para la emisión y recepción de los datos de telemetría bajo el protocolo de comunicación Xbee. Para ello se han utilizado equipos COTS (Commercial-Off-The-Self) para los módulos de transmisión y recepción basados en Xbee. Durante la implementación, se ha abarcado el conexionado, la configuración, y la programación de estos módulos. También se realiza un estudio del hardware y software necesario para obtener una visualización en el PC que permita el control de los parámetros a tiempo real del vehículo y diferentes pruebas que nos aseguren el correcto funcionamiento en la emisión y recepción de datos.

Ambos estudios se desarrollaran para obtener de forma conjunta la comunicación de los datos de telemetría y la visualización de los parámetros del UAV en tiempo real. Además, se estudiara e implementara código en Arduino para la optimización de los módulos utilizados en dicho propósito.

- Diseño y construcción de un avión no tripulado basado en sistemas y dispositivos COTS, realizada por el alumno Mateo Riquelme Bernal.

Este PFC se centra en las fases de definición, diseño y construcción del avión no tripulado, haciendo uso de dispositivos de uso comercial (COTS, Commercial off-the-shelf). Primero se analizara el problema bajo estudio, a continuación, se procederá seleccionar adecuadamente los sistemas y componentes COTS disponibles en el mercado y, finalmente se integraran todos ellos en un prototipo real de avión no tripulado. Entre los componentes destacan la estructura del avión, los equipos y dispositivos electromecánicos, el sistema de control/guiado automático y el equipamiento para la adquisición de la imagen digital. En el proceso de definición y selección de componente se utilizaran criterios del ámbito de la organización industrial con el objetivo de optimizar los recursos disponibles para conseguir un eficiente UAV con gran funcionalidad y versatilidad. Considerando las etapas previas se procederá a construir el prototipo así como su verificación y testeo.

La realización conjunta y coordinada de estos PFCs permitirá la obtención de un UAV capaz de cumplir con los objetivos principales del Proyecto Dédalo, y con algunos detalles que se abarcan en cada uno de los PFCs por separado.

En este PFC en concreto, se realizara la parte de “Diseño y construcción de un avión no tripulado basado en sistemas y dispositivos COTS”.

1.2. Objetivos.

Como se ha indicado anteriormente, el objetivo del presente proyecto es la creación de un prototipo de avión no tripulado para usos múltiples, utilizando dispositivos de uso comercial o COTS. Para ello se parte de una serie de requisitos fundamentales:

- Despegue mediante lanzamiento manual.
- Autonomía: 30 minutos aproximadamente.
- Carga de pago: Al menos 500 g.

Y cuatro fases principales:

- I. Estudio del estado del arte en el diseño de aviones de aeromodelismo y su aplicación directa a la implementación de UAVs con componentes comerciales.
- II. Definición de lista de posibles materiales para la construcción del prototipo.
- III. Selección de sistemas y dispositivos COTS atendiendo a criterios de ingeniería de organización industrial.
- IV. Integración de componentes y construcción del avión, incluyendo el sistema de comunicación de radiofrecuencia.

1.3. Introducción al aeromodelismo.

El Aeromodelismo es un deporte derivado de la técnica de construcción y vuelo de aeroplanos de pequeño tamaño (aeromodelos) preparados para volar sin tripulación. Desde 1936 la FAI (Federación Aeronáutica Internacional) lo incorporó como una sección de la aviación deportiva, publicando un código deportivo internacional. En el aeromodelismo hay que distinguir dos actividades fundamentales: La científica y la deportiva. La faceta científica comprende el estudio de la aerodinámica y la mecánica, el diseño y proyecto de modelos de aviones y su construcción. La parte deportiva consiste en hacer volar estos aviones de distintas maneras, según el tipo de aeromodelo de que se trate: Los aspectos científico y deportivo del aeromodelismo son inseparables, y un buen aeromodelista es aquel que proyecta, construye y hace volar sus propios modelos. El aeromodelismo es un hobby con un elevado componente científico y técnico cuyo objetivo es diseñar, construir y hacer volar aviones a escala, bien como réplica lo más exacta posible de otros existentes, diseñados exclusivamente para aeromodelismo o incluso diseños de prueba para futuros aviones reales.

1.3.1. Historia del aeromodelismo.

La historia del Aeromodelismo en sus comienzos, es la propia historia de la aviación, puesto que el hombre, en la mayoría de los casos buscó ensayar las formas de vuelo con modelos reducidos, antes que hacerlo el mismo. Se considera que el Aeromodelismo comienza con Arquitas de Tárento (s. III a.C.) y su famosa paloma voladora. En el siglo XVI, un herrero alemán construyó y logró que un águila metálica volase unos 500 pasos, saliendo al encuentro del emperador Carlos V, y también se dice que este emperador entretenía sus socios en su retiro de Yuste, haciendo volar uno de estos ingenios.

Habría que esperar hasta 1871 para que Alphonse Penaud, considerado el padre del aeromodelismo, hiciera volar un sencillo aparato al que denominó "Planophore", tenía un sencillo y primitivo motor con un peso aproximado de 15 gramos con el que recorrió 40 metros en 12 segundos, cuya hélice estaba accionada por unas tiras de caucho retorcidas y equipado con una cola estabilizadora.

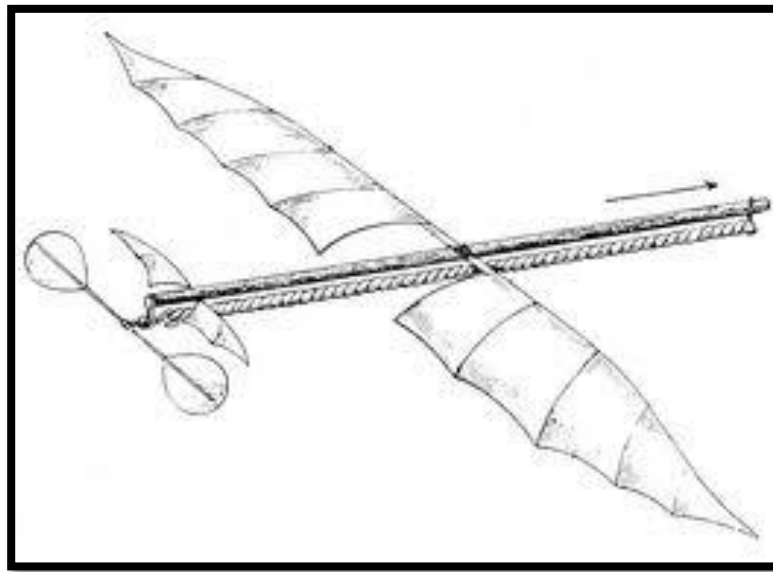


Figura 1.1. Planophore de Alphonse Pénaud

En 1879 se fabricó el primer motor de aire comprimido. Aunque fue un paso importante para el aeromodelismo, su utilización requería unos inmensos depósitos de aire a alta presión para accionar su hélice.

Posteriormente surgieron los motores de CO_2 , que aligeraban el peso. Pero no fue hasta década de 1930 cuando se empezó a utilizar el motor de explosión interna para el aeromodelismo. Estos motores desplazaron casi por completo al resto de motores. Poco a poco se van perfeccionando los motores y debemos subrayar la importancia que tiene la aparición del primer motor de bujía

incandescente, con lo que se suprimió el engorroso sistema de encendido de chispa, así como la aún mayor simplificación que suponen los motores diesel. Los modelos se fueron perfilando y cada vez más pareciendo a los aviones reales.

El aeromodelismo encontró una enorme expansión con la aparición del vuelo circular, que en su forma primitiva, se debe a Víctor Stanzel, un tejano que controlaba sus modelos con un cable y una caña. La comercialización de este tipo de modelos empieza en enero de 1940. El día 26 de diciembre de ese mismo año se registra la patente número 2.292.416 debida a Jim Wlaker, de Portland, Oregón, en la que se describe el sistema de control por dos cables en la forma practicada en la actualidad.

El avance más notable en este deporte se produjo tras la invención de la radio por Guillermo Marconi en 1886, que hizo posible dirigir la trayectoria del modelo mediante las ondas radioeléctricas. Los primeros aviones a radiocontrol se diseñaron con válvulas electrónicas y poseían unos botones con los cuales se dirigía el avión, mediante diversas pulsaciones. El emisor transmitía las ondas de radio, las cuales se recibían en un receptor a bordo del avión. El receptor las transformaba y enviaba impulsos eléctricos a unos dispositivos electromecánicos que eran los que movían los mandos del avión; pero su imperfección, su gran tamaño, su peso, y su alto número de fallos, hacían que sólo unos pocos utilizaran este sistema.

Hoy en día cualquier equipo de radiocontrol cuenta con un microprocesador interno y un software más o menos avanzado, el cual permite programar y recordar los distintos parámetros de diversos modelos, haciendo el vuelo más sencillo y seguro.

En la actualidad la actividad aeromodelista se encuentra ampliamente desarrollada, podríamos decir que internacionalmente está en su apogeo, contándose con instituciones nacionales e internacionales importantes, materiales avanzados para la construcción, las últimas tecnologías electrónicas para las prácticas de vuelo e incluso una amplia disponibilidad informática para el diseño y el aprendizaje de vuelo.

Hitos relevantes para el aeromodelismo:

1936: La FAI (Federación Aeronáutica Internacional), incorpora el aeromodelismo como una sección de la aviación deportiva.

1939: Walter Good hizo las primeras demostraciones en vuelo con un modelo que pesaba 6 kg y cuyo receptor de 4 lámparas, con 400 gr de peso requería 1 kg de pilas de 90 V.

1942: Se patenta un sistema de vuelo controlado por dos cables dando lugar a una forma de vuelo que logró gran popularidad “vuelo circular o U-control”.

1945: Los enormes progresos alcanzados en la electrónica durante la Segunda Guerra Mundial, hicieron que a finales de ésta se pudiesen simplificar los logros efectuados por los aficionados,

pero con el inconveniente de la escasez de materiales, lo que no permitió la difusión de esta modalidad de vuelo.

1946: El reactor también llega al aeromodelismo, en la forma de cohetes con carga sólida, que sustituirían a los antiguos de pólvora (Jetex) o los pulsorreactores que se iniciaron con el complejísimo Minijet, para simplificarse y popularizarse con el Dynajet.

1950: En la década de los años cincuenta, se empezó a disponer del primer material comercial y, sobre todo, de la lámpara subminiatura XFG1, permitiendo una gran disminución de peso en el receptor, y en las pilas necesarias.

1.3.2. Características del aeromodelismo.

El aeromodelismo se puede clasificar en función de características como son la propulsión, la modalidad de vuelo, el tipo de control y la categoría de los aviones.

1.Variedades de Aeromodelismo

Existen diferentes modalidades de aeromodelismo:

- **Vuelo libre:** Modelos remolcados puros, lanzados a mano o con motor a goma o explosión que planean sin control o intervención de su propietario.
- **Vuelo Circular,** también llamado U-Control: Modelos que giran alrededor del piloto controlados por éste gracias a un juego de cables.
- **Radiocontrol (R/C):** Es la categoría reina del aeromodelismo. En ella podemos encontrar maquetas o semimaquetas (según su grado de similitud con respecto al modelo real), veleros, motoveleros, etc., sin contar helicópteros, autogiros y cualquier engendro volador que funcione gracias a señales de radio que transmiten órdenes a unos servos que actúan sobre las superficies de control de los modelos.
- **Interiores:** Modelos específicamente diseñados para volar en recinto cerrados, entre los que se distinguen los helicópteros de radiocontrol, especialmente a batería, destacan por su bajo peso. También últimamente se han diseñado modelos a radio-control para volar en interiores, como gimnasios, bodegas de tamaño grande, etc. Hay muchas tiendas en casi todos los países que se especializan en la venta de artículos de este hobby.
- **FPV:** Proviene del inglés "First Person View". Esta es una nueva modalidad del aeromodelismo en la cual el piloto guía al aeromodelo por medio de video inalámbrico. Las imágenes provenientes del avión son transmitidas en directo al piloto a través de gafas de realidad virtual o monitores. También hay clubes en muchas ciudades que hacen

competiciones en las diferentes divisiones del aeromodelismo y ayudan mucho a los que se inician en este deporte científico.

2. Sistemas de propulsión

A continuación se incluye una descripción de los modos de propulsión más usuales en aeromodelismo.

Planeadores

También conocidos como veleros. Estos modelos se caracterizan por una mayor superficie alar, comparada con el resto de los métodos de propulsión, debido a que dependen exclusivamente las alas para su sustentación. La elevación se consigue gracias a las corrientes térmicas ascendentes, o a las corrientes ascendentes que se producen en las laderas de las montañas y desniveles, del mismo modo que en un planeador pilotado desde dentro. Al igual que el resto de los modelos, pueden ser de vuelo libre, o radiocontrolados.

- Los modelos de vuelo libre suelen llevar un temporizador mecánico (también llamado *desterminalizador*), de tal manera que transcurrido un determinado tiempo de vuelo, les hace entrar en pérdida, bajando así a tierra. De esta manera, se evita la pérdida del modelo.
- Los modelos radiocontrolados usan servos que gobierna una emisora que presenta dos palancas con las que se dirige el modelo y controla su vuelo.

Motor a goma

Este simple método de propulsión consiste en un haz de gomas que recorre el eje del fuselaje del modelo. Enganchado a la cola, y a la hélice, este haz se retuerce sobre sí mismo manualmente, o con ayuda de un motor (no necesariamente), quedando así tenso. Una vez se libera la hélice, ésta comienza a girar al destensarse las gomas, haciendo así avanzar el modelo.

Motor CO₂

Una cápsula de gas a presión, dentro del fuselaje del modelo, se rellena desde el exterior con la ayuda de una bombona. Este gas a presión, liberado, ejerce una presión sobre un pistón en el cilindro del motor, haciendo que se mueva de igual modo a cómo funciona un motor de explosión. Este movimiento lineal del pistón se transforma en rotatorio, haciendo así girar el eje del motor, al que está enganchada la hélice. Su uso principal es el de motorizar pequeños modelos de interior sobre todo tamaño Peanut (aproximadamente 20 cm de envergadura) Se han construido motores maqueta multicilíndricos en estrella, en línea y en V de más de 12 cilindros. Actualmente, estos motores están en desuso por la aparición de los motores eléctricos y las baterías de pequeño tamaño.

Motor de combustión interna

De igual modo a cómo funcionan los automóviles, un depósito de combustible alimenta un motor de uno o más cilindros. La combustión del carburante dentro del cilindro, mueve el pistón, que a su vez hace girar la hélice. Los motores más utilizados en aeromodelismo se dividen en tres categorías:

1. Motores Glow-Plug, de bujía incandescente o simplemente Glow

El combustible que se usa en estos motores de combustión interna de aeromodelismo suele ser una mezcla de aceite, metanol y nitrometano en diferentes porcentajes según el uso y las características del motor. La bujía en los motores más corrientes monocilíndricos de dos tiempos consiste en una resistencia de platino, la cual necesario poner al rojo vivo previo al arranque del motor. Para conseguir esto se hace pasar electricidad a través de su resistencia mediante una batería eléctrica llamada chispometro, de 1,2 ó 2V o un reductor de tensión acoplado a una batería de 12V llamado "Power panel". Una vez en marcha, la reacción catalítica del platino con el metanol lo mantiene incandescente lo suficiente para esperar una nueva explosión. Las cilindradas van desde 0,4 cc hasta unos 23 cc., habitualmente.

2. Motores Diésel

El combustible que se usa en estos motores de combustión interna de aeromodelismo suele ser una mezcla de petróleo, aceite, éter y nitrito de amilo en diferentes porcentajes según el uso y las características del motor. A diferencia de los Glow, los Diésel no disponen de ningún filamento que haya que poner al rojo, el aumento de temperatura provocado por la compresión de los gases en la cámara de combustión es suficiente para provocar su autoencendido, para ello, dicha cámara dispone de un contrapistón ajustable con un tornillo para aumentar o disminuir la compresión para conseguir un encendido y funcionamiento correctos, el par motor es muy superior al de los Glow debido sobre todo a su muy superior relación de compresión, pero, como ésta depende de las revoluciones a las que va a trabajar, acepta muy mal el funcionamiento a distintos regímenes, por lo que prácticamente no se utiliza en radiocontrol. Las cilindradas van desde unos 0,8cc hasta 3,5cc., habitualmente.

3. Motores de Chispa

El combustible que se usa en estos motores de combustión interna de aeromodelismo suele ser una mezcla de gasolina sin plomo normalmente 95 octanos y aceite en diferentes porcentajes según el uso y las características del motor. Son motores, que se usan generalmente a partir de 1,700mm de envergadura y mayor a 20cc de fácil puesta en marcha y de combustible mucho más baratos que los glow. Suelen ser parecidos o iguales a los de una motosierra y el carburador hace de bomba de combustible gracias a la presión que produce el cárter del motor, estos normalmente son Walbro. Los primeros utilizaban

plato magnético y ruptor para conseguir la chispa, pero hoy en día, llevan CDI (encendido electrónico) que funciona con una batería y la chispa se produce cuando el portahélices (con un pequeño imán) pasa por un captador y manda una señal a la CDI para que produzca la chispa, esto hace que sea mucho más fiable que un glow. La bujía es parecida a la de un coche o moto pero de tamaño más reducido. Por medio de este motor se puede emplear el chispómetro, el cual es un aparato de dos electrodos conectados entre sí.

Motores Eléctricos

Los motores eléctricos como sistema de propulsión de aeromodelos, se vienen utilizando desde hace muchos años, si bien no ha sido hasta finales del siglo pasado cuando, gracias a los avances realizados en las baterías, la verdadera viabilidad de estos motores ha alcanzado o incluso superado a los motores de combustión. 2 tipos:

1. **Motores con escobillas:** El motor de corriente continua con escobillas fue el comienzo lógico de este sistema, los motores según el estándar de "MABUCHI" fueron y son aún muy utilizados, sobre todo en sus tamaños 200, 300, 400, 540 (provenientes del automodelismo) y 600. Utilizando dichos estándares, mejoraron las características utilizando imanes de "tierras raras" (Cobalto, Neodimio, etc.). En un principio, los motores se regulaban con un interruptor accionado por un servo, e incluso, una resistencia variable, con lo que se podía regular la velocidad del motor, si bien éste sistema tiene un rendimiento muy bajo, y se pierde mucha energía de las baterías en forma de calor. pronto se creó un servo que sustituía su motor por un relé que hacía la conexión. Posteriormente, la reducción de precios de los componentes electrónicos y la mejora de los equipos de radiocontrol, consiguieron que la regulación del motor se realizase por trenes de pulsos de anchura variable que, a diferencia de una variación de tensión, consigue la variación de velocidad del motor sin reducir excesivamente el par entregado. Pero, a pesar de todos estos avances y mejoras, siguen teniendo menor rendimiento que los motores "brushless" o sin escobillas.
2. **Motores sin escobillas (Brushless):** De especial relevancia para el aeromodelismo son los nuevos motores trifásicos o "brushless" (sin escobillas) de gran rendimiento y bajo consumo. Estos motores, se construyen de dos maneras:
 - "Inrunner" o de rotor interno, fueron los primeros en aplicarse al aeromodelismo, en ellos, el bobinado está en la carcasa exterior, mientras que el rotor se encuentra en el interior, son los que tienen menor diámetro y menor par pero mayor velocidad de giro, su uso principal, actualmente, está en las turbinas EDF (Electric Ducted Fan eléctricos) y la propulsión por hélice con reductoras de engranajes, especialmente los planetarios.
 - "Outrunner" o de carcasa giratoria, toman como modelo los motores utilizados en informática, en los que los imanes permanentes están dispuestos en un anillo alrededor de un grupo de bobinas dispuestas de forma radial, estos motores son

de mayor diámetro, el par es muy superior, y, trabajan a unos regímenes que permiten la utilización directa de las hélices, incluso con diámetros bastante grandes en relación al peso del conjunto para aplicarlos a cualquier especialidad del aeromodelismo.

Para dosificar la potencia de estos motores eléctricos, se usan variadores específicos, que generan una corriente trifásica que varía en frecuencia. Estos motores son alimentados por baterías que deberían ser independientes a la alimentación eléctrica de los otros artefactos eléctricos dentro del aeromodelo como pueden ser receptor y servos, si bien casi todos los variadores de uso general disponen de un sistema de alimentación a partir de las baterías del motor, y se encarga de, al bajar la tensión de las baterías al descargarse, cortar la alimentación al motor manteniendo la del equipo de radiocontrol. Según la naturaleza de las baterías, el sistema de regulación cambia para evitar dañarlas, así un regulador para baterías de Ni-Cd o Ni-Mh corta con tensiones menores que las de LiPo. Estas últimas, por su bajo peso y gran densidad de carga, son las más utilizadas habitualmente, sin embargo, en especialidades de aeromodelismo en que es necesaria una descarga muy intensa y corta, las baterías de níquel todavía tienen un campo de aplicación.

Pulsorreactor

El pulsorreactor es el motor a reacción más sencillo que se conoce, fue desarrollado por Paul Schmitd en Alemania en la década de los 20 y empleado por los nazis en las famosas bombas V1. Antes de que fuera posible el uso de las turbinas a reacción en aeromodelos a escala, el pulsorreactor fue utilizado en aeromodelismo debido a la sencillez de su fabricación y la mecánica de su funcionamiento, aún hoy es utilizado por muchos aficionados a este deporte y constituye casi una especialidad del mismo. Los modelos motorizados con este tipo de sistemas son también conocidos como pulsejet.

Motor de Turbina

Al igual que en los aviones tripulados, el motor a turbo reacción tiene el mismo funcionamiento, incluso generando un sonido muy similar. Los motores de este tipo son mucho más caros y generan mucha potencia, convirtiendo a un avión en un auténtico cohete alcanzando velocidades de hasta 550 km/h.

3. Control de los aeromodelos

Sin control

En los llamados aeromodelos de vuelo libre, éstos deben ser autoestables, es decir, una vez lanzados, el avión no dispone de ningún sistema para controlar su destino, si bien, para evitar la pérdida del mismo, a veces disponen de un sistema de temporización para cambiar de forma radical su actitud de vuelo haciéndole descender, éstos sistemas son, habitualmente, mecánicos de relojería o tan simple como una mecha que quema un dispositivo que cambia su actitud de vuelo. Existen planeadores puros y modelos motorizados para alcanzar la altura de vuelo para posteriormente continuar planeando.

Vuelo circular

Los modelos describen una trayectoria circular alrededor del piloto situado en el centro, el cual sujeta el avión por medio de unos cables, habitualmente de acero, que en función del tamaño del avión y de la modalidad de vuelo, tienen entre 16 y 21 metros de longitud. En su forma básica, se usan dos cables que unidos al mando de profundidad permiten que el modelo realice cualquier figura que se pueda dibujar sobre la superficie de una semiesfera. En el caso de ciertas especialidades como Carrier (portaaviones) se utilizan tres cables, o en el caso de maquetas, se llegan a usar más de 5 cables para accionar los distintos elementos de la maqueta como pueden ser aceleradores, flaps, trenes retráctiles, compuertas, etc. Las diferentes especialidades oficiales están recogidas en la normativa FAI, si bien existen normativas más flexibles para competiciones no oficiales y de iniciación.

Radiocontrol

Los modelos radiocontrolados (RC) usan una emisora o radio manejada desde tierra por el piloto, y un receptor dentro de la aeronave que controla una serie de servos que transmiten mediante un mecanismo de varillas o similar movimiento a las distintas superficies de control del aeromodelo como pueden ser los alerones, flaps, aerofrenos, timón y profundidad. De esta manera, se controla su vuelo. Se controlan así los ángulos de guiñada, el cabeceo y el alabeo. En los modelos dotados con motor, si se trata de un motor de explosión, otro servo controla el acelerador, si se trata de un motor eléctrico se hace uso de un variador dando más o menos velocidad al motor. Se pueden colocar tantos servos en el avión como el tamaño del modelo y la capacidad de la emisora de radio lo permitan. Existen radios con capacidad desde los 2 canales hasta los 14, con igual o mayor número de servos.

4. Categoría de los Aviones

Entrenadores

Los aviones de este tipo están contruidos de manera que el vuelo sea lo más sencillo para principiantes, con amplia capacidad para planear debido a las alas largas y anchas ubicadas en la parte superior del avión, además suelen tener diedro (alas en forma de "V"), que lo hacen muy estable en el aire. No son buenos para acrobacias y vuelo de velocidad. En general los modelos entrenadores o trainer tienen las alas con un perfil asimétrico lo que genera un vuelo estable.



Figura 1.2. Trainer en pleno vuelo.

Acrobáticos

Generalmente existen los monoplanos o biplanos, se caracterizan por responder rápido a cualquier orden desde la emisora de radio y pueden alcanzar velocidades mayores. Se vuelven particularmente inestables a bajas velocidades, ocasionando que se pierda el control en pilotos con poca experiencia, por el contrario en manos de un experto las maniobras que pueden realizar son inimaginables. Dentro de estos se encuentra una categoría de vuelo que ha nacido no hace mucho, denominada vuelo 3D. Se trata de maniobras agresivas, con elevados ángulos de ataque y velocidades cercanas o inferiores a la de pérdida. Estos modelos van sobre motorizados y están dotados de grandes superficies móviles que les permite maniobrar a bajas velocidades, para ello también se utilizan hélices con mayor diámetro y menos paso, de esta manera podemos hacer que el avión vuele más lento y responda mejor a los mandos en bajas velocidades ya que aumentamos el caudal de aire. Por lo general los aviones acrobáticos tienen alas con perfiles simétricos lo que permite que el vuelo invertido sea mucho más fácil y estable

Fun Fly: Este nuevo tipo de avión, es una variante del acrobático, ya que con él se pueden realizar todo tipo de maniobras. La diferencia principal con estos, es el peso; estos aviones al ser mucho más ligeros que los acrobáticos convencionales, pueden realizar un cierto número de maniobras, que los acrobáticos, por su carga alar no pueden realizar. Estos aviones (como su nombre indica) son divertidos de volar, aunque en cierta medida, no son aptos para principiantes. Suelen ser más económicos que los acrobáticos convencionales en la mayoría el fuselaje es muy delgado.



Figura 1.3. Avión a combustión de vuelo 3D.

Maqueta

El maquetismo en el aeromodelismo se divide en dos ramas: maquetas y semimaquetas. Las maquetas son reproducciones del avión original, con una escala concreta y un diseño físico fiel al avión real. Las semimaquetas se pueden definir como maquetas no completas, en el sentido de que no poseen el mismo detalle que una maqueta. La semimaqueta está diseñada para ser un tipo de avión económico, más fácil de volar que la maqueta, y al alcance del bolsillo de un ciudadano medio.



Figura 1.4. Reproducción a escala del P-38.

5. Categorías FAI

Las distintas categorías en que se subdivide el aeromodelismo vienen determinadas por la Federación Aeronáutica Internacional (FAI) y vienen definidas por una letra que en aeromodelismo siempre es la "F" seguida por un número y otra letra para determinar las distintas especialidades dentro de esa categoría. Veamos cuales son:

Categoría F1 - Vuelo Libre

- F1A - Veleros sin motor.
- F1B - Veleros con motor a gomas.
- F1C - Veleros con motor a pistón.
- F1D - Modelos de interior.
- F1E - Veleros de ladera.
- F1F - Helicópteros.
- F1G - Modelos con motor a gomas.
- F1H - Planeadores (Clase A-1).
- F1J - Modelos con motor a pistón.
- F1K - Modelos con motor CO2.
- F1L - Modelos Indoor (EZB).
- F1M - Modelos Indoor de iniciación.
- F1N - Planeadores Indoor lanzados a mano.
- F1O - Planeadores Outdoor lanzados a mano.

Categoría F2 - Vuelo Circular

- F2A - Modelos de velocidad.
- F2B - Modelos de acrobacia.
- F2C - Modelos de carreras.
- F2D - Modelos de combate.
- F2E - Modelos de combate con motor diésel.
- F2F - Modelos de carreras con motor diésel y fuselaje perfilado (Clase provisional).

Categoría F3 - Vuelo radiocontrolado

- F3A – Acrobacia.
- F3B - Planeadores térmicos.
- F3C - Helicópteros.

- F3D - Carreras de pilón.
- F3F - Veleros de ladera.
- F3G – Motoveleros.
- F3H - Planeadores de carrera.
- F3I - Planeadores aerorremolcados.
- F3J - Veleros térmicos.
- F3M - Modelos de gran escala (por ejemplo 3 metros de envergadura).
- F3P - Acrobacia indoor con modelos de Depón.

Categoría F4 - Maquetas

- F4A - Maquetas de vuelo libre.
- F4B - Maquetas de vuelo circular.
- F4C - Maquetas de radiocontrol.
- F4D - Maquetas de vuelo libre en interior con motor a gomas.
- F4E - Maquetas de vuelo libre en interior con motor CO2 o eléctrico.
- F4F - Maquetas de vuelo libre en interior (Fórmula Peanut).
- F4J - Maquetas de vuelo propulsadas con turbina de gas.

Categoría F5- Modelos con motor eléctrico

- F5A – Acrobáticos.
- F5B – Motoveleros.
- F5C - Helicópteros.
- F5D - Carreras de pilón.
- F5E - Aviones solares.
- F5F - Planeadores eléctricos (hasta 10 elementos).

1.3.3. Funcionamiento básico del aeromodelo.

Un avión de aeromodelismo se controla normalmente mediante una emisora y su correspondiente receptor, estas en la actualidad tienen entre 4 y 16 canales y cada uno de ellos controla una función en el avión. Para ello las emisoras en España trabajan con las siguientes frecuencias: 35mhz, 433mhz, 869mhz y 2,4ghz, siendo esta última la más utilizada, aunque hace unos 10 años lo fue la banda de 35mhz.

Los canales del receptor actúan fundamentalmente en servomotores y variadores de frecuencia, consiguiéndose así el movimiento de las distintas superficies móviles (aleros, timón de dirección,...), el accionamiento de trenes retractiles, la aceleración-deceleración en motores,...

En un aeromodelo básico son necesarios al menos cuatro canales, por ejemplo:

- Canal 1: Movimiento del servomotor en los motores de combustión o variación de la frecuencia del variador.
- Canal 2: Movimiento del servomotor del timón de dirección.
- Canal 3: Movimiento del servomotor del timón de profundidad.
- Canal 4: Movimiento de los servomotores de los aleros.

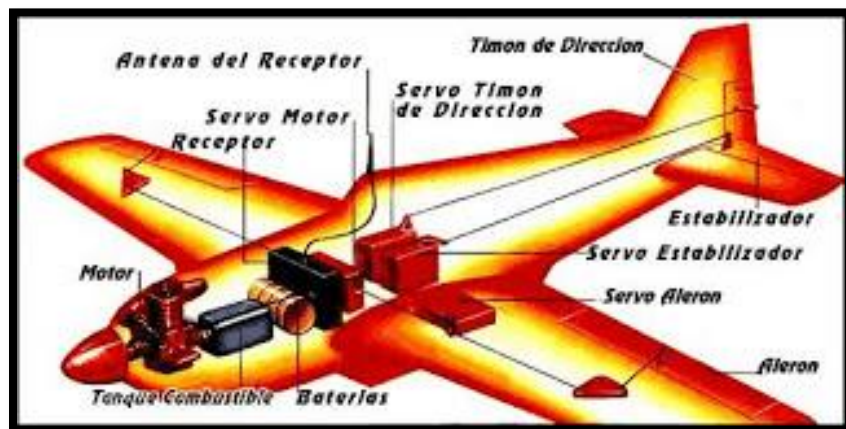


Figura 1.5. Principales componentes de un aeromodelo.

El accionamiento de los canales anteriores da como resultado por orden los siguientes movimientos: Aceleración, Guiñada, Cabeceo y Alabeo.

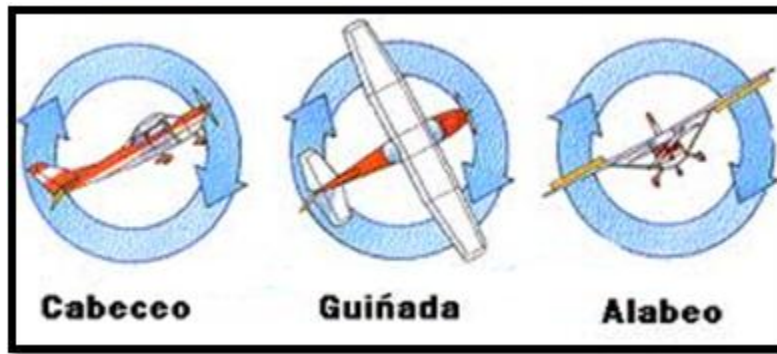


Figura 1.6. Movimientos básicos de un aeromodelo.

Por ultimo en la siguiente figura se pueden observar las principales fuerzas que intervienen en el funcionamiento del aeromodelo.

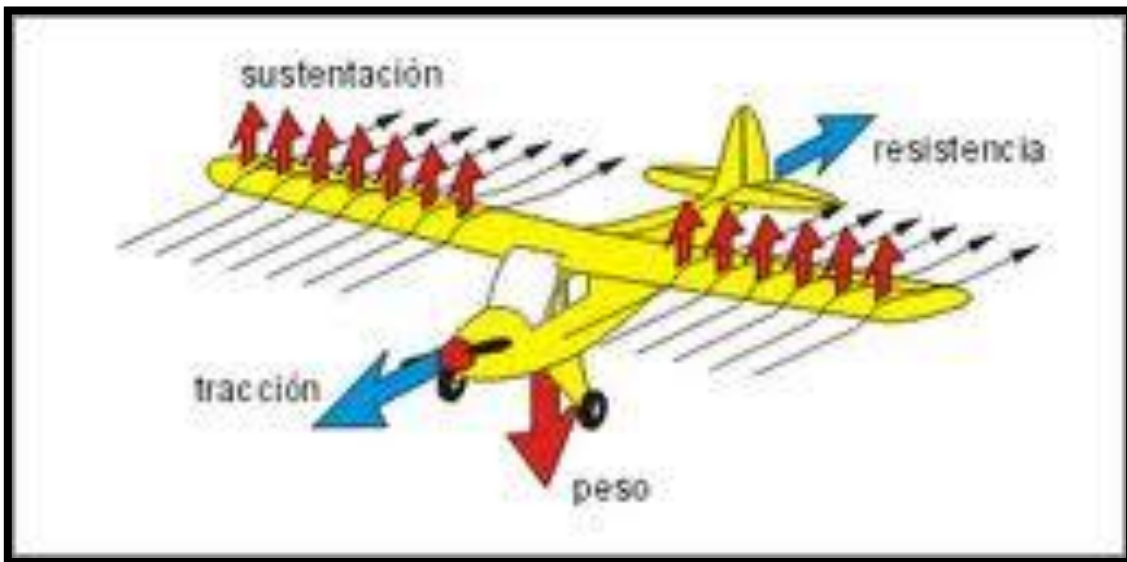


Figura 1.7. Fuerzas que intervienen en el funcionamiento del aeromodelo.

La sustentación se produce gracias al perfil aerodinámico de las alas que consigue que la velocidad del aire sea mayor en la parte superior que en la inferior, consiguiéndose así una diferencia de presiones que hacen que el aeromodelo ascienda, ya que hay mayor presión en la parte inferior que en la superior.

Por otro lado si la fuerza de sustentación es mayor al peso del aeromodelo, este ascenderá, si es inferior descenderá y si son iguales este se mantendrá.

También es importante considerar la resistencia al avance que deberá ser en todo momento menor que la fuerza de tracción producida por el motor, ya que si no el aeromodelo no avanzaría y por tanto tampoco se produciría sustentación con lo que conlleva.

1.4. Introducción a los UAVs.

Los Vehículos Aéreos no Tripulados más conocidos como UAV o UAS de sus siglas en inglés “Unmanned Aerial Vehicle” y “Unmanned Aerial System” respectivamente, son aeronaves que vuelan sin tripulación humana a bordo, de forma autónoma o controlados desde una estación de tierra o GS (ground station). Las características anteriores son comunes a los misiles de crucero con la diferencia de que los UAVs son reutilizables.

1.4.1. Historia de la aviación no tripulada.

La historia de los UAVs se remonta a mediados del siglo XIX cuando un primitivo UAV formado por un globo cargado de bombas se utilizó el 22 de agosto de 1849 en un ataque austríaco a la ciudad de Venecia. Posteriormente llegaron los misiles crucero, controlados por un sistema de giroscopios durante la Primera Guerra Mundial y aviones radiocontrolados utilizados para entrenar a los tiradores británicos antiaéreos durante la Segunda Guerra Mundial. En las guerras de Corea y Vietnam, el ejército de los Estados Unidos encontró en los UAVs una forma de desviar los ataques enemigos de sus bombarderos y cazas tripulados y se desarrollaron también los primeros UAVs de reconocimiento.

El primer vuelo tripulado fue el 17 de diciembre de 1903, llevado a cabo por los hermanos Wright, sin embargo antes de esto ya se intentó llevar a cabo vuelos no tripulados:

- En Febrero de 1863, un inventor llamado Charles Perley patentó un bombardero no tripulado. Este bombardero consistía en un globo aerostático de aire caliente que podía cargar con explosivos y tenía un temporizador. El globo se soltaba con unas ciertas condiciones, y teniendo en cuenta la velocidad del viento y la distancia se ajustaba el temporizador. El cual al activarse iniciaba un mecanismo que soltaba unas cestas con bombas.
Este primitivo dispositivo no dio resultados remarcables, ya que el viento cambiaba de dirección y velocidad, por lo que tenía una precisión mínima.
- En 1883, un británico llamado Douglas Archibald tomó unas fotografías desde una cometa. Douglas Archibald había estado experimentando con cometas y el viento durante mucho tiempo. Las fotografías fueron publicadas en los periódicos hasta que un soldado americano pensó que este experimento tendría utilidad en alguna guerra.

En la guerra hispanoamericana de 1898, el cabo William Eddy de Colorado tomó cientos de fotografías desde una cometa como las de Archibald. Estas fueron las primeras fotos de vigilancia de la historia. Muchas de las fotos que tomó dieron información crítica a las tropas americanas sobre las posiciones y fortificaciones del adversario.

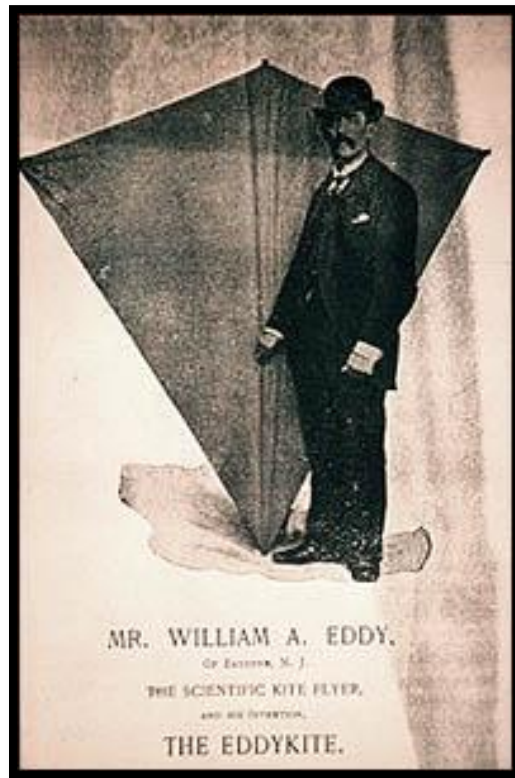


Figura 1.8. William Eddy y su cometa.

Durante la primera guerra mundial apareció el primer UAV en Estados Unidos de América. Aunque el éxito fue un poco errático, los militares se dieron cuenta que tenía potencial en combate. Antes de que los prototipos de UAV pudieran desplegarse se firmó el armisticio de la guerra.

- En 1917 el doctor Peter Cooper y Elmer A. Sperry inventaron el giróscopo estabilizador automático, el cual ayudaba a mantener una aeronave en vuelo estable, recto y nivelado. Usaron esta innovadora tecnología para convertir una aeronave U.S. Navy Curtiss N-9 de entrenamiento en el primer UAV controlado por radio. Tomó el nombre Sperry Aerial Torpedo y voló 50 millas cargando una bomba de 300 libras en muchos test de vuelo, aunque nunca se usó en combate.



Figura 1.9. Sperry Aerial Torpedo.

- En 1918, Charles F. Kettering, de General Motors, diseñó un pequeño avión llamado Kettering Bug. Hecho de madera y lienzo, por 400\$ la unidad, este pequeño avioncito fue diseñado para cargar una bomba de equivalente su propio peso, 300 libras. Estaba diseñado para salir desde un vehículo con ruedas, desplegar las alas y dirigirse hacia un objetivo preprogramado. El ejército de estados unidos encargó una gran cantidad de estos aviones durante los últimos meses de la primera guerra mundial, pero acabó la guerra y los pedidos fueron cancelados.



Figura 1.10. Kettering bug.

Durante más de una década después del final de la Primera Guerra Mundial, la investigación sobre UAV se redujo considerablemente. No fue hasta mediados de los años 30, cuando nuevos UAV emergieron como una importante herramienta de entrenamiento en combate.

- La Queen Bee, o reina abeja, fue el primer UAV reutilizable. Su primer vuelo data de 1935. Fue diseñada en el Reino Unido para usarse como un objetivo aéreo durante misiones de entrenamiento. Los artilleros de la marina real practicaban con ellos para intentar abatirlos. Estaba hecha de madera contrachapada y pino, era controlada por radio. Podía volar hasta a 17.000 pies de altura y viajar una distancia máxima de 300 millas a unas 100 mph. Se fabricaron un total de 380 Queen Bees en la fuerza aérea real y la marina real hasta que fueron retirados en 1947.



Figura 1.11. Queen Bee.

Durante la Segunda Guerra Mundial la alemania nazi desarrolló un UAV, el cual demostró las posibilidades que ofrecen en combate. Los intentos de América de eliminar dicho UAV sentaron las bases de los programas de investigación americanos en futuros proyectos de UAV.

- Al principio de la Segunda Guerra Mundial, Adolf Hitler encargó crear una bomba voladora con el siguiente mandato: se usará contra “objetivos no militares”. Fieseler Flugzeugbau diseñó el Fi-103, más conocido como Vergeltungswaffe-1 o V-1. Su nombre se traduce como Arma de venganza – 1. Se lanzaban desde una rampa estilo catapulta para salir volando a 470mph. Se propulsaba con un pequeño motor pulsorreactor, el cual emitía un zumbido característico. Podía cargar hasta una cabeza armada de 2000 libras, y era programado para volar hasta 150 millas antes de soltar su bomba. La primera vez que se usó fue contra los británicos en 1944. Mató a más de 900 civiles e hirió a más de 35.000.



Figura 1.12. Vergeltungswaffe-1.

- La gran efectividad y amenaza de los UAV alemanes V-1 impulsó que la marina de Estados Unidos desarrollara sus propios UAV para que pudieran destruir los lugares de lanzamiento de los V-1.

En 1944, el equipo SAU-1 (Special Air Unit One) convirtió los PB4Y-1 Liberators y los B-17 para que pudieran cargar 25.000 libras de explosivos y pudieran volar por control remoto usando sistemas de guiado con imágenes de televisión. Las aeronaves, conocidas como PB4Y-1 y BQ-7, despegaban con una tripulación de 2 hombres, los cuales volaban hasta alcanzar 2000 pies de altura y programaban el rumbo para interceptar los lugares de lanzamiento de los V-1 en Francia antes de que éstos atacaran. Aunque peligrosas, estas operaciones tuvieron éxito en contrarrestar la amenaza de los V-1. Fue la primera vez en la historia en la que se usaba un UAV contra otro UAV.

También se usaron los BQ-7 para recoger datos sobre radioactividad en los lugares en los cuales se hicieron pruebas de bombas atómicas.



Figura 1.13. B-17

En la guerra de Vietnam, los UAV que antes se habían hecho para el combate, adquieren un nuevo uso, vigilancia secreta.

- En el año 1960, la fuerza aérea de Estados Unidos de América inicia su primer programa para diseñar un avión invisible y modificar los UAV de combate para misiones de reconocimiento.

Los ingenieros redujeron la marca que dejaba el avión Q-2C Firebee en el radar usando una pantalla especialmente diseñada en la frontal de los motores, poniendo unas capas de un material que absorbía las señales de radar en los lados de los fuselajes y cubriendo la aeronave con una nueva pintura antirradar.

El resultado fue la aeronave AQM-34 Ryan Firebee, que fue lanzada y controlada desde la aeronave DC-130. Una vez realizada la misión, el UAV era dirigido a un sitio seguro dónde recogerlo, se activaba el paracaídas y era recogido por un helicóptero.

Las pruebas de vuelo demostraron que los UAV Firebee podían proveer de completa vigilancia. Entre octubre de 1964 y abril de 1975 se enviaron más de 1.000 AQM-34 Ryan Firebee en más de 34.000 misiones de vigilancia sobre el sudeste de Asia. Fueron muy fiables, el 83% de los Firebee enviados se recuperaron y se reusaron.



Figura 1.14. AQM-34 Ryan Firebee.

- Con la guerra fría en su apogeo, la necesidad de imágenes de reconocimiento de alta calidad fue máxima. Después de intentar vigilancias sin éxito, la CIA decidió que debían trabajar en un nuevo UAV, invisible a los ataques, de forma inmediata. El gobierno de Estados Unidos encargó a la compañía Lockheed el trabajo de desarrollar un UAV de alta velocidad e invisible.

Lockheed produjo el UAV D-21 en 1965. Era una aeronave capaz de alcanzar Mach 4, el UAV más rápido de la historia. Tenía un rango de 3.000 millas y podía operar a una altura de 80.000 pies. Estaba recubierto por una pintura antirradar propia de Lockheed, precursora de la que se usa hoy en día en los aviones invisibles. Sólo se fabricó uno, voló 3 misiones sin éxito antes de que se estrellara y hundiera. Las partes de los otros D-21 que se estaban fabricando se quedaron sin montar en el almacén.



Figura 1.15. D-21.

El éxito del UAV Firebee continuó después de la guerra de Vietnam. En la década de los 70, mientras otros países empezaron a desarrollar sus propios sistemas UAV avanzados, los Estados Unidos fijaron sus objetivos en otros tipos de UAV.

- Impresionado por el UAV AQM-34 Ryan Firebee de los americanos, Israel compró 12 secretamente en el 1970, los modificó y los llamó UAV Firebee 1241. Estos Firebee 1241 tuvieron un importante papel en 1973 en la guerra entre Israel, Egipto y Siria, tanto en misiones de reconocimiento como haciendo de señuelo.

El segundo día de la guerra, la fuerza aérea israelí desplegó su flota de Firebees para atacar a las defensas aéreas egipcias. Los egipcios usaron todos su inventario de misiles tierra-aire contra los Firebees, 43 misiles. Los Firebees evadieron exitosamente 32 de los misiles y destruyeron los otros 11 con misiles antirradar.



Figura 1.16. Firebee 1241.

Desde que Israel diseñó su UAV Firebee, entre la década de los 70 y pasados los 80, la fuerza aérea israelí se convirtió en un desarrollador muy agresivo de UAV. Hizo importantes mejoras y nuevos UAV, versiones de las cuales fueron integrados en flotas de UAV de muchos otros países.

- En 1978, Israel Aircraft Industries construyó Scout, una aeronave con motor de pistón de 13 pies de envergadura hecha de fibra de vidrio. La fibra de vidrio con el que estaba hecho el Scout respondía con una señal muy pequeña al radar, lo que unido al pequeño tamaño del UAV hacía casi imposible abatirlo. El Scout podía transmitir a tiempo real imágenes de video de vigilancia en 360 grados.



Figura 1.17. Scout.

- A finales de los 80, Israel construyó también el UAV Pioneer. Después de demostrar el éxito de los UAV israelíes., el ejército de Estados Unidos compró más de 20 modelos de Pioneer. Estos modelos se convirtieron en los primeros UAV pequeños y baratos de la moderna fuerza militar americana. El Pioneer es impulsado por cohetes, el cual puede partir desde tierra o bien desde un portaaviones en mar. Se han usado en vigilancia en la guerra del Golfo, en Bosnia y todavía hoy lo usan tanto Estados Unidos como Israel.



Figura 1.18. Pioneer.

Hoy en día, los UAV forman parte importante en todos los ejércitos con alta tecnología, tanto en Estados Unidos, Europa, Asia y Oriente Medio. Además se usan para fines pacíficos monitoreando el medio ambiente de la tierra.

- En 1996 el ejército israelí desarrolló un nuevo UAV, el Firebird 2001. Éste es un UAV controlado de forma remota, proporciona datos en tiempo real y datos de alta precisión sobre un incendio forestal: tamaño, velocidad, perímetro y movimiento, mediante una serie de tecnologías como GPS, información geográfica y cámaras de visión infrarroja.



Figura 1.19. Firebird 2001.

- Estados Unidos diseñó un UAV que funciona a base de energía solar y dispone de motores de hélice auxiliares, y es ultraligero. Desarrollado por AeroVironment Corporation y su uso es de investigación medioambiental. Éste UAV, llamado Pathfinder, alcanzó la altitud de

67.350 pies. Su uso consiste en recoger datos del viento, temperatura, humedad, presión... con unos sensores muy precisos, y toma fotografías de alta resolución.



Figura 1.20. Pathfinder.

- Como el Pathfinder, Helios funciona con energía solar y dispone de motores de hélice. Es un modelo con mayor envergadura alar. Su primera prueba en vuelo fue el 1999. El objetivo era alcanzar el techo de 10.0000 pies o en el caso del Helios también aguantar 24 horas en vuelo. En agosto de 2001 alcanzó la altitud de 96863 pies. Y en junio de 2003 durante unas pruebas de vuelo se rompió y cayó al mar.



Figura 1.21. Helios.

- El UAV con la forma más extraña lo diseñó Lockheed Martin /Boeing. Se llama DarkStar y tiene forma de almeja con alas. Es uno de los 3 UAV de alta tecnología creados a

finales de la década de los 90 por Estados Unidos. Está hecho con tecnología de avión invisible y su misión es de vigilancia. Fue encargado por la Agencia de investigación de proyectos de defensa avanzada (DARPA, Defense Advanced Research Projects Agency) de Estados Unidos. Se esperaba que volara y fuera indetectable a 45.000 pies de altura en cualquier condición meteorológica y transmitiera imágenes a los soldados en tierra. Era tan caro que se canceló el proyecto.



Figura 1.22.DarkStar.

- Uno de los UAV más importantes de los que dispone el ejército de Estados Unidos es el General Atomics Aeronautical Systems RQ-1 Predator, de los cuales tiene más de 60.

Se ha usado en misiones de reconocimiento en los Balcanes, en Afganistán y en el Oriente Medio. Tiene un rango de unas 450 millas y hasta 16 horas de video en tiempo real de vigilancia en color y en alta definición, cámaras de visión infrarroja y SAR (Radar de Apertura Sintética). Es controlado por un equipo en tierra usando una conexión radio por Line-Of-Sight o usando un satélite. Aunque originalmente fue diseñado únicamente para misiones de reconocimiento y vigilancia, se han equipado con misiles antitanque, los cuales han dado en el blanco de forma exitosa.



Figura 1.23. RQ-1 Predator.

- El tercer UAV fue fabricado por Teledyne Ryan, llamado RQ-4 Global Hawk. Fue usado en la guerra de Afganistán durante las primeras semanas. Tiene 116 pies de envergadura. Está diseñado para despegar desde una base de Estados Unidos y volar hasta el país donde tenga su misión, de forma autónoma, recoger datos y transmitir en tiempo real imágenes de videovigilancia, volar a altura de hasta 65.000 pies y volver a la base sin tener que parar.



Figura 1.24. RQ-5 Global Hawk.

1.4.2. El UAV frente a la aviación tripulada.

En los últimos años se ha producido el boom de la aviación no tripulada, disparándose las investigaciones en este campo, el número de aparatos y sus aplicaciones; todo ello es debido a sus innumerables ventajas:

- **Reducidos costes.** Además del importante ahorro del coste de la tripulación, muchos UAVs, por sus pequeñas dimensiones, pueden operar sin necesidad de infraestructura aeroportuarias (lanzados con la mano o mediante catapulta), y sin embargo llevar a cabo valiosas misiones. Esto supone una gran flexibilidad, una “democratización” del empleo de medios aéreos, ya que muchas instituciones, desde universidades a empresas, no podrían permitirse el costo de estos servicios con aeronaves tradicionales.

Pero la reducción de costes no sólo afecta a la difusión de la aeronáutica entre las instituciones con menor capacidad económica. Aun en organizaciones con grandes medios materiales el ahorro es siempre importante. Así por ejemplo, la USAF ha podido constatar que el costo operacional de los UAS es muy inferior al de las aeronaves tripuladas. Por otra parte, si bien es cierto que el costo de sistemas equivalentes en los UAS es ligeramente superior por la reducción de precio, el coste de adquisición suele ser bastante inferior. Como ejemplo sirva el hecho de que por el precio de un obsoleto F-14 *Tomcat* se puede equipar un escuadrón completo de *Predator* (Kumar 1997). Si bien es cierto que las capacidades de uno y otro no son comparables, no deja de ser un dato cualitativo a tener en cuenta. La diferencia de precio se acentúa aún más si se actualizan los datos con aeronaves más modernas como el *Eurofighter*, el F-22 o el F-35.

Estudios más recientes muestran que, para tareas y prestaciones similares, el costo de adquisición es elevado para aviones tripulados, el de operación es mayor para los UAS por razones logísticas y por requerir de personal más especializado. En estos mismos informes se concluye que las mejoras tecnológicas, como la minimización del operador humano, terminaran de inclinar la balanza a favor de los UAVs.

- **Expansión de envoltorio de vuelo:** actualmente los aviones se diseñan para operar dentro de los límites de la fisiología humana. En el caso de aviones de combate, esto supone una gran limitación, ya que los misiles resultan mucho más ágiles y veloces por carecer de esta cortapisa pudiendo alcanzar sus blancos. Al prescindir de piloto se elimina también esa desventaja, obteniéndose aeronaves más capaces y seguras.
- **Ahorro de peso.** No es sólo el peso del piloto, sino el de todos los sistemas asociados, como *displays*, cabina, sistemas de hábitat, asientos eyectables en el caso de cazas... Para un avión de combate, la reducción de peso puede llegar a suponer una fracción considerable del MTOW (Maximum Take-off Weight, peso máximo al despegue,). Esta disminución de la masa de la aeronave reduce mucho el consumo de combustible y permite crear sistemas más eficientes.
- **Gran libertad de diseño.** Debido a la ausencia de piloto, los problemas asociados a la presencia del mismo desaparecen. Así, es posible diseñar UAV de cualquier tamaño, desde

tan grandes como el Global Hawk (Envergadura 35,41 m.; MTOW 14.628 kg.) hasta otros tan pequeños como el Black Widow (Envergadura 15,24 cm.; MTOW 50 gr.).

- **Misiones Dull, Dirty and Dangerous (Department of Defence 2007) (Aburridas, sucias y peligrosas).** Es una de las grandes ventajas de los UAVs militares. Es posible realizar tareas de observación o incluso de ataque durante largos periodos de tiempo en entorno hostiles sin poner en peligro vidas humanas, reduciendo tanto el coste social de un conflicto como la pérdida económica que supone la muerte de un piloto entrenado durante años.
 - **Dull:** Como ejemplo de misiones aburridas, cabe destacar el caso de los bombarderos B-2, que durante la operación Libertad Duradera realizaron misiones de 44 horas. Teniendo en cuenta que la tripulación consta de dos pilotos alojados en el pequeño habitáculo de la cabina, cabe imaginarse el desgaste que este tipo de misiones produce.
 - **Dirty:** Estados Unidos empleo aviones B-17s y F6Fs entre 1946 y 1948 para tomar muestras in vivo del interior de nubes nucleares tras la explosión de bombas atómicas. En 1948 la USAF decidió que el riesgo para las tripulaciones era aceptable y sustituyó los aviones sin piloto por F-84 tripulados en los que la tripulación se protegía con trajes de plomo. Varios pilotos murieron por la radiación o por la incapacidad de salir del avión tras el accidente por el sobrepeso (Department of Defence 2007).
 - **Dangerous:** es bien conocido el incidente durante la Guerra Fría en el que un avión de reconocimiento U-2 Estadounidense tripulado por Gary Powers fue derribado en espacio aéreo soviético el 1 de mayo de 1960, desencadenando una crisis internacional. El piloto fue acusado de espionaje y condenado a prisión y trabajos forzados. Este incidente llevaría a los EE.UU. a desarrollar Firefly, un avión de reconocimiento sin piloto lanzado desde las alas de un C130 Hércules y recuperado en áreas propias bien por paracaídas o por un helicóptero en vuelo.

Pero no todo son ventajas, también tienen algunos inconvenientes como son:

- Espectro de frecuencias saturado (telefonía móvil, radio control...).
- Para los UAVs comerciales: aceptación del público + certificación.
- Grandes limitaciones por el ancho de banda para transmitir datos.
- Falta de desarrollo/implementación de inteligencia artificial.
- Seguridad interceptación señales.
- Información estratégica, no se libera, es difícil hacer nuevos desarrollos partiendo de tecnología en el mercado.

1.4.3. Clasificación de los UAVs.

En la actualidad podemos clasificar a los UAV según sus características de vuelo como se observa en la tabla 1.1. Esta comparativa abarca tanto aplicaciones civiles como militares.

Categoría	Acrónimo	Alcance (Km)	Altitud de vuelo (m)	Autonomía (h)	Carga máxima (kg)
<i>Micro < 250 gr</i>	Micro	< 10	250	1	< 5
<i>Mini < 25 kg</i>	Mini	< 10	150 y 300	< 2	< 30
<i>Alcance cercano</i>	CR	10 a 30	3.000	2 a 4	150
<i>Alcance corto</i>	SR	30 a 70	3.000	3 a 6	200
<i>Alcance medio</i>	MR	70 a 200	5.000	6 a 10	1.250
<i>Altitud baja</i>	LADP	> 250	50 a 9000	0,5 a 1	350
<i>Autonomía media</i>	MRE	> 500	8.000	10 a 18	1.250
<i>Autonomía alta</i> <i>Altitud baja</i>	LALE	> 500	3.000	> 24	< 30
<i>Autonomía alta</i> <i>Altitud media</i>	MALE	> 500	14.000	24 a 48	1.500
<i>Autonomía alta</i> <i>Altitud alta</i>	HALE	> 2.000	20.000	24 a 48	12.000
<i>Combate</i>	UCAV	1500	10.000	2	10.000
<i>Ofensivo</i>	LETH	300	4.000	3 a 4	250
<i>Señuelo</i>	DEC	500	5.000	< 4	250
<i>Estratosférico</i>	STRATO	>2.000	20.000 y 30.000	>48	ND
<i>EXOestratosférico</i>	EXO	ND	>30.000	ND	ND

Tabla 1.1. Clasificación según capacidades.

La mayoría de los UAV civiles se encuentran entre la categoría Micro y alcance cercano. En la siguiente tabla podemos ver una comparativa de estos UAV civiles de corto alcance (< 30 km).

Característica	Helicóptero	Aeroplanos	Dirigibles	Quadrotor
Capacidad de vuelo estacionario	***		****	***
Velocidad de desplazamiento	***	****	*	**
Maniobrabilidad	***	*	*	****
Autonomía de vuelo	**	***	****	*
Resistencia a perturbaciones externas	**	****	*	**
Auto Estabilidad	*	***	****	**
Capacidad de vuelos verticales	****	*	**	****
Capacidad de carga	***	****	*	**
Capacidad de vuelo en interiores	**	*	***	****
Techo de vuelo	**	****	***	*

Tabla 1.2. Clasificación según tipo.

A continuación se muestran imágenes de cada uno de los tipos de UAV:



Figura 1.25. Aeroplano.



Figura 1.26. Dirigible.



Figura 1.27. Helicóptero.



Figura 1.28.. Quadrotor.

También se pueden clasificar atendiendo a los siguientes criterios:

Por el tipo de control

- **Autónomo y Adaptativo:** El UAV está totalmente gobernado por sus sistemas de a bordo, sin intervención del operador en tierra. El UAV tiene la capacidad de re-planificar su vuelo en función de los cambios producidos en su entorno. El UAV puede interactuar con otros UAVs (de su tipo o no) – toma decisiones solo..
- **Monitorizado:** El UAV opera de forma autónoma. Un operador controla la retroalimentación del UAV. El operador no puede controlar el UAV (no controla sus mandos), pero puede tomar decisiones por él.
- **Supervisado:** El UAV realiza unas pocas operaciones de forma autónoma. El control recae en su gran mayoría sobre el operador.
- **Autónomo-no adaptativo (o preprogramado):** El UAV obedece a una rutina pre-programada, y no tiene la capacidad de cambiar esa rutina para adaptarla a los cambios externos.
- **Mando directo por un operador(R/C):** El UAV responde directamente a los mandos de un operador.

Por la forma de despegue:

- Desde una pista: MC-12, Reaper, Dominator (unmanned DA-42).
- Lanzado con catapulta u otros medios mecánicos: SIVA.
- Lanzados a mano: RQ-11 Raven.

Por tipo de misión.

- Reconocimiento, observación... (aquí cabe desde control de fronteras a tráfico marítimo o vigilancia de carreteras, reconocimiento estratégico, fotografía aérea): Reaper, MC-12, SIVA, RQ-11 Raven.
- Blancos Aéreos: QF-86, QF-100. QF-16, DIANA.
- Combate (ya sea caza –aire-aire-, apoyo cercano –CAS- o estratégico): X-45, X-47.
- Investigación: Boeing 720.
- Salvamento: MULE, AH6X Little Bird.
- Anti incendios: Ion tiger, Predator, SDSU.
- Transporte: MULE, UH-60 “drone”.

Por origen de la misión.

- Civil.
- Militar.

Por la forma de obtener la sustentación.

- Más pesados que el aire.
 - Ala fija.
 - sean de fuselaje convencional : MC-12, Reaper, SIVA.
 - o ala volante: X-45, X-47.
 - Fuselaje sustentador MULE.
 - Ala rotatoria: Saab Skeldar.
 - Convertiplanos e híbridos: VTOL Technologies, Boeing X-50, HADA español, y el DRH estadounidense, V-STAR, Verticopter. , X-Hake y FALS, Vanguard Omniplane, SRC, AD150.
 - Otros: AESIR UAV, Monocopter.
- Más ligeros que el aire.
 - Dirigibles: UAV Airships.

- Híbridos.
 - Cuerpo sustentador + dirigible: LEMV.

Por su motor.

- Alternativo: SIVA, RQ-11 Raven.
- Turbinas (turbofanos, turbohélices, turboejes, etc): Reaper, X-45, X-47, DIANA.
- Eléctricos (solares, pila de combustible, pila de hidrógeno...): Ion tiger, NASA Helios.

1.4.4. Campo de aplicación de los UAVs.

Se ha mostrado las capacidades de los UAVs. Estas aptitudes pueden emplearse en tantos campos como se desee. De entre ellos caben destacar:

- **Monitorización de fenómenos ambientales:** como fuegos forestales, nubes tóxicas, tsunamis, terremotos...

- **Reabastecimiento en vuelo:** aunque es una tecnología aún en desarrollo, ya hay experimentos de reabastecimiento en vuelos entre UAVs y aeronaves tripuladas.

- **Vigilancia de fronteras:** existen varios informes que muestran las ventajas del empleo de esos aparatos para garantizar la integridad de los límites nacionales.

Esto ha decantado a países como Estados Unidos para la adquisición de Predators para este cometido.

- **Patrulla marítima:** las largas misiones de patrulla sobre las aguas del mar donde cualquier movimiento destaca respecto a la uniformidad parecen idóneas para los UAVs. Como muestra de ello está el caso de la adaptación de un *Predator B* para la Protección de las Aguas estadounidense bajo la designación *Guardian*.

- **Cartografía:** existen diferentes líneas de investigación en lo referente a cartografía digital mediante UAVs, desde las basadas en modelos de elevación del terreno mediante barridos laser o radares de apertura sintética a las basadas en rectificación de imágenes aéreas para analizar la superficie, incluso en tiempo real.

- **Reconocimiento:** como se expuso en la revisión histórica, las labores de reconocimiento fueron el primer cometido asignado. Si bien es cierto que en sus primeras acciones fue estratégico, rápidamente se incluyó el táctico con labores sobre el campo de batalla. Actualmente, el pequeño tamaño de muchos aparatos permiten incluso a un soldado llevar a su espalda un UAV lanzado con su propio brazo para disponer de una visión panorámica de su entorno más inmediato.

- **Apoyo aéreo cercano:** como se expuso en la revisión histórica, los Predator están desarrollando tareas de intervención con amplio éxito demostrado en los actuales conflictos de Irak y Afganistán.
- **Penetración furtiva:** los UAVs de observación táctica poseen pequeño tamaño, pequeña firma de radar y son bastante silenciosos, los que los hace idóneos para las tareas de infiltración furtiva.
- **Blanco y señuelo:** las pruebas de nuevo armamento, así como el entrenamiento de pilotos de combate. En España, el Instituto Nacional de Técnicas Aeroespaciales (INTA) dispone de dos modelos, el ALBA, para entrenamiento de artillería antiaérea y el DIANA para prácticas más avanzadas.
- **Comprobación de infraestructuras:** en casos como gaseoductos, oleoductos, redes eléctricas... es de especial interés por la longitud de la obra a chequear y la inaccesibilidad del terreno que en muchas ocasiones recorren.
- **Monitorización de tráfico:** las técnicas actuales de monitorización de tráfico se basan principalmente en bobinas enterradas bajo la vía. Sin embargo esto presenta la limitación de que únicamente permite el conteo. El desarrollo de nuevas técnicas basadas en visión aporta más información, pero presenta el problema del soporte de la cámara. Construir mástiles es caro y poco flexible y emplear aeronaves tripuladas es demasiado caro. Se ha demostrado cómo es posible emplear de forma efectiva UAV para la monitorización de tráfico.
- **Seguimiento de poblaciones animales:** existe un gran interés en el control de poblaciones animales, ya sea para proteger especies en peligro, para realizar investigaciones biológicas (Junta de Andalucía 2011) o simplemente como elemento que facilite su captura. Diferentes aparatos han mostrado sus capacidades en estos campos.
- **Pseudosatélites :** el elevado coste asociado a poner en órbita una carga de pago hace que cualquier alternativa a los satélites sea muy tentadora. En este sentido, se utilizan UAVs como pseudosatélites capaces de realizar las mismas tareas de monitorización y comunicaciones. Si bien es cierto que conllevan la pérdida de cobertura y la ventaja de poder sobrevolar cualquier espacio aéreo sin violar la territorialidad de ningún país, aportan mayor flexibilidad y sobre todo mucho menor coste. Para este tipo de aplicaciones, además de UAVs convencionales con gran autonomía empiezan a extenderse dirigibles automatizados que presentan la ventaja de minimizar el consumo de combustible y permitir mayores altitudes.

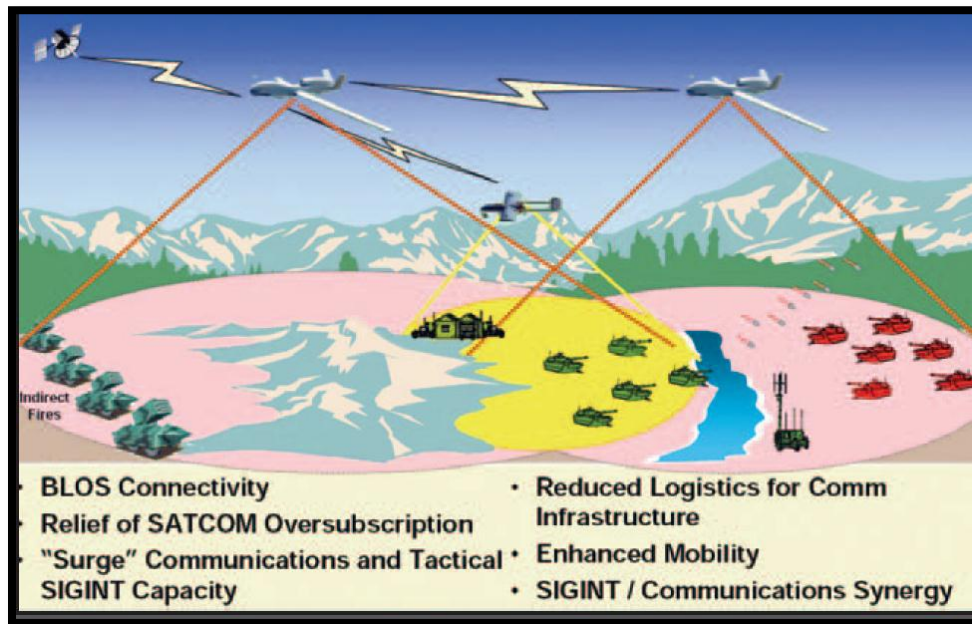


Figura 1.29. Esquema de funcionamiento de pseudosatélites.

La lista de aplicaciones es tan extensa como permite la imaginación, en general cualquier actividad que suponga tareas aéreas tediosas o peligrosas y pueda realizarse de forma más segura, económica y eficiente con el empleo de UAS.

1.4.5. Los UAVs en el Espacio Aéreo y marco regulatorio.

Están regulados algunos Sistemas Aéreos no tripulados: cometas, pequeños cohetes, aviones r/c, y globos meteorológicos. Sin embargo, esta regulación no cubre apenas ninguno de los modernos sistemas no tripulados. Excluyendo estos sistemas de los UAV que nos interesan, en la actualidad, los UAV sólo están operando en espacio aéreo segregado, para operaciones militares.

Integrar los UAV de manera segura en el espacio aéreo civil posibilitaría que ayudaran en una gran cantidad de aplicaciones civiles y paraciviles. Entre éstas se incluyen patrulla marítima, vigilancia de fronteras, seguimiento agrícola, recogida de datos meteorológicos/atmosféricos y cartografía geológica de infraestructuras desde gran altitud.

No existe normativa internacional alguna sobre su operación en el espacio aéreo. Tan solo algunas normas nacionales, como las de Suiza, Reino Unido o Australia.

Tanto FAA (Estados Unidos) como EASA (Europa) están realizando estudios sobre cómo integrar las aeronaves no tripuladas en sus respectivos espacios aéreos, y por tanto establecer unos mínimos sobre los que certificar estas aeronaves.

Ahora mismo, la operación de cualquier UAV requiere autorizaciones específicas por parte de las Autoridades Aeronáuticas.

Los estudios publicados, del MIT y de la FAA enfocan la regulación de las aeronaves no tripuladas realizando un estudio de tamaños, masas, probabilidades de fallo, y probabilidades de impacto contra tierra o en vuelo, contra aeronaves tripuladas, concluyendo que, para uso civil regulado son las aeronaves “mini” y “micro” (menos de 30lb ~14kg) las más adecuadas, y no recomendando UAS de más de 1000lb (454kg). Para las primeras, las normas a aplicar serían similares a las reglas seguidas por los aficionados de R/C, no registradas como leyes y sí como normas de clubes de R/C, basadas en consejos de la FAA. Estas normas establecen cotas de operación muy bajas, mantener siempre el contacto visual con la aeronave y se restringe su uso fuera del espacio aéreo controlado, lejos de zonas “problemáticas” como sendas de aproximación y despegue de aeropuertos. Para los UAS más pesados establecen la necesidad de homogeneizar su control con el ya existente del espacio aéreo, aplicándole las mismas normas que a las aeronaves tripuladas, por ejemplo operando bajo las mismas normas que operan en espacio aéreo no controlado (ultraligeros). Otra opción contemplada es la operación de UAS, que vuelan a una cota superior al espacio aéreo que usan los vuelos comerciales.

1.5. Organización de la memoria.

En el presente capítulo se presentan los objetivos del proyecto y se muestra la historia del aeromodelismo y los UAV's en las que se puede apreciar lo unidas que están ambas disciplinas, además también se introducen las características y funcionamiento de ambos.

En el capítulo 2 se analiza el problema bajo estudio y se definen una serie de posibles componentes para nuestro drone, con las características que deben reunir, ventajas e inconvenientes de unas u otras opciones, ...

Partiendo del anterior capítulo, en el capítulo 3 estudiaremos que componentes son los mas adecuados para nuestro proyecto, para ello compararemos las opciones mas interesantes y elegiremos las que mas se adecuen a nuestro presupuesto y fin. Al final de este capítulo ya conoceremos todos los componentes que dispondremos y tendremos un presupuesto con el coste total del proyecto.

En el capítulo 4 se procederá con el montaje del aeromodelo y la realización de todas las operaciones necesarias para que este pueda volar, además se realizaran los primeros test de vuelo que nos ayudaran a terminar de ajustar el avión.

Una vez tengamos el aeromodelo en orden de vuelo montaremos en el capítulo 5 el equipo para vuelo en primera persona, una vez instalado se volverán a hacer test de vuelo, pero esta vez en FPV.

Por ultimo en el capitulo 6 se precederá al montaje y configuración del ArduPilot Mega, que será el cerebro del UAV. Cuando este preparado en el aeromodelo se volverán a realizar test de vuelo de los que recogeremos los datos necesarios para ajustar los reguladores que controlan las actitudes de vuelo de la aeronave.

CAPITULO 2. Descripción de componentes del UAV.

La configuración de este tipo de aeronaves es bastante variada, es decir, no existe un patrón estereotipado de diseño debido a la multitud de aplicaciones para las que se pueden usar los UAVs. Por eso en este capítulo vamos definir una lista de posibles componentes, para la constitución de un prototipo para usos múltiples.

2.1. Aeromodelo y equipación.

2.1.1. Aeromodelo.

Necesitamos un aeromodelo ligero, con motorización eléctrica, gran capacidad de carga y buena distribución del espacio, que sea capaz de despegar mediante lanzamiento manual y de aterrizar sobre la panza (sin tren de aterrizaje). Además tendremos que estudiar con más detalle los siguientes puntos:

1. Tipo de propulsión de la aeronave. El empuje será producido por un motor eléctrico alimentado a baterías, pero dependiendo de la configuración elegida se obtendrán unas características u otras; las dos posibles configuraciones son “puller” o “pusher”:
 - Puller. En esta configuración el motor se encuentra situado en la parte delantera del aeromodelo.

Ventajas.

- La posición delantera del motor contribuye a la estabilización en cabeceo ante una perturbación en ángulo de ataque ya que adelanta el centro de gravedad de la aeronave.
- La hélice recibe el flujo de aire muy limpio y uniforme por lo que trabajara de forma más eficiente. Aparte de esto, se consigue una mejor refrigeración del motor al estar totalmente expuesto a la corriente incidente.

Inconvenientes.

- El fuselaje y la raíz del ala reciben el aire perturbado de la estela de la hélice. La hélice acelera el flujo en la estela por lo que la corriente que recorre el fuselaje tiene una velocidad superior a la incidente, y puesto que la resistencia varía de forma cuadrática con la velocidad, se tiene un gran aumento de la resistencia.

- La posición delantera de la hélice haría que esta y el eje estuviesen expuestos a todos los golpes en caso de un aterrizaje forzoso, atenuando los daños en el caso de usas hélices plegables.
- Pusher. En esta configuración el motor se encuentra situado en la parte trasera del aeromodelo, es decir, dejando delante el centro de gravedad.

Ventajas.

- Se reduce la resistencia de fricción porque el fuselaje vuela a través de una corriente limpia. La estela que deja la hélice de aire acelerado no afecta al fuselaje reduciendo así la resistencia de este. Además, el ala tampoco se ve afectada por la estela, lo que se traduce en una mayor eficiencia aerodinámica.
- A bajas velocidades, se aumenta la controlabilidad en dirección y cabeceo debido a que la hélice acelera el flujo que le llega a la cola de forma que ésta se hace más efectiva, llegando directamente la estela de la hélice al estabilizador en el caso de usar cola en T.
- Normalmente la hélice se encuentra elevada, por lo que se encuentra protegida frente a posibles impactos en los aterrizajes sobre la panza.

Inconvenientes.

- El efecto de la estela de la hélice también puede tener efectos perjudiciales como pueden ser las perturbaciones en el control de profundidad y dirección. La cola está directamente afectada por las perturbaciones de la estela del motor por lo que pequeñas perturbaciones en esta pueden causar movimientos bruscos en cabeceo y guiñada, así como vibraciones no deseadas.
- Si se coloca el motor justo detrás del fuselaje, será difícil de refrigerar puesto que no le llega una corriente de aire directa. No obstante, al colocar el motor elevado respecto al fuselaje, este inconveniente ve reducido su efecto.
- La hélice es menos eficiente puesto que la corriente no llega uniforme, llega perturbada por el fuselaje y/o el ala. Además, es importante tener en cuenta la capa límite ensanchada que llegaría a la hélice si esta se colocara justo detrás del fuselaje y/o ala, que hace que el perfil de velocidades en el plano de la hélice no sea uniforme.
- La posición trasera del motor tiene un efecto desestabilizador en cuanto a perturbaciones en ángulo de ataque, puesto que tiende a retrasar el centro de gravedad de la aeronave, reduciendo así el margen estático.



Figura 2.1. Por orden, aeromodelo con propulsión pusher, aeromodelo con propulsión puller-push, y aeromodelo con propulsión puller.

2. Perfil aerodinámico. Este constituye la geometría básica de las superficies aerodinámicas, cuya propiedad fundamental es la capacidad de generar sustentación en el interior de una corriente incidente. Por ello, la selección del perfil es un aspecto fundamental en el diseño de cualquier aeronave puesto que afecta a las velocidades características (crucero, entrada en pérdida), distancias de aterrizaje, maniobrabilidad y principalmente influye en la eficiencia aerodinámica de la aeronave, es decir, la relación entre la sustentación y la resistencia.

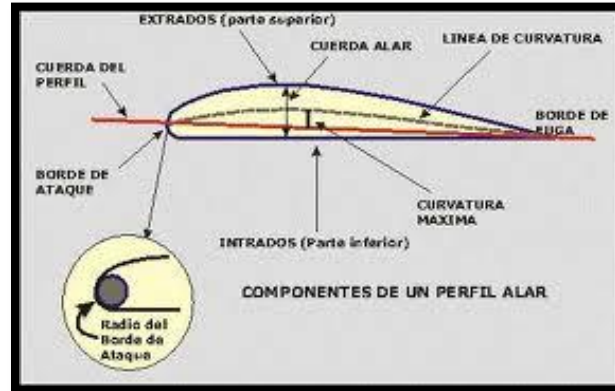


Figura 2.2. Componentes de un perfil alar.

- Alas.
 - Primeramente elegiremos una aeromodelo de ala alta, ya que esta tiene que poder ser lanzada manualmente y un ala baja entorpecería esta maniobra. Además por otro lado los aeromodelos de ala alta presentan mejor estabilidad lateral-direccional.
 - Como queremos prescindir de un aeródromo, al igual que se tiene que poder lanzar manualmente, también debe de poder aterrizar en poco

espacio, por lo que es imprescindible el uso de flaps para aumentar la sustentación a bajas velocidades y alerones para el alabeo, en el peor de los casos debe de tener unos alerones de gran superficie que se podrían usar de flaperones, es decir, dos superficies articuladas que pueden actuar como flaps y alerones simultáneamente, aunque no con el mismo resultado que si disponemos de dos flaps y dos alerones.

- Necesitamos que la aeronave vuele a baja velocidad, para ello necesitaremos unas alas con un numero de Reynolds ¹en la cuerda relativamente bajo, así se consigue una capa limite ²prácticamente laminar a lo largo de todo el perfil, por lo que tienen peor capacidad para superar los gradientes de presiones adversos en el extradós.
- Carga Alar. Es un parámetro aerodinámico de la aeronave que consiste en el peso de esta dividido por el área de ala o superficie de sustentación. Este parámetro condiciona directamente diversos aspectos del comportamiento aerodinámico de la aeronave tales como su peso máximo de despegue, velocidad de trepada o radio de giro. Se expresa en kilogramos partido por metro cuadrado. Visto desde los extremos, los veleros tienen cargas alares bajas, sobre $0,5 \text{ kg/m}^2$, mientras que por ejemplo los cazas o los misiles tienen cargas alares mucho mas altas, lo que se traduce en que estos pueden conseguir velocidades mucho mayores, mientras que el primer caso con carga alar baja tienen una serie de características que lo hace ideal para nuestro propósito: Una menor velocidad de aterrizaje y despegue, una mayor capacidad de trepada (ascenso), una menor velocidad de entrada en perdida³, una mayor capacidad de carga del avión y un mayor peso máximo de despegue, ...

Resumiendo, necesitaremos un aeromodelo con ala alta, con flaps, y con muy poca carga alar, por lo que el modelo buscado se asemejara bastante a los veleros.

- Cola. Hay aeromodelos con cola en V, en V invertida, en T, en T invertida,..., no hay grandes diferencias entre el uso de unas u otras en cuanto a rendimiento aerodinámico, pero sin embargo no interesa mucho usar cola en T, ya que al llevar

¹ El número de Reynolds relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos. Dicho número o combinación adimensional aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar (número de Reynolds pequeño) o turbulento (número de Reynolds grande).

² Distancia desde la superficie del perfil, hasta el punto en el que la velocidad es idéntica a la de la corriente libre del aire.

³ Es la velocidad mínima a la que una aeronave es capaz de volar manteniéndose en el aire, es decir, consiguiendo una sustentación que sea capaz de igualar su peso y así no perder altura.

el estabilizador horizontal en la parte superior, esta menos expuesto a roturas derivadas de enganchones en los aterrizajes.

- Fuselaje. Aunque es muy importante que el fuselaje ofrezca la mínima resistencia aerodinámica, no vamos a tener muy en cuenta este factor ya que es inversamente proporcional al espacio interior del aeromodelo, y es este el aspecto que más nos interesa del fuselaje.
3. Material. Nos interesa que la aeronave sea lo más ligera posible, y que simultáneamente resista turbulencias, aterrizaje y la carga de pago. Vamos a considerar los 4 principales materiales utilizados en aeromodelismo.
- Fibra de carbono: Es de los cuatro materiales, el más resistente y ligero, pero en contra es el más caro y difícil de reparar. Los aeromodelos fabricados en este material, están constituidos por mallas de fibra de carbono que aplican a un molde y luego se fijan con una resina, como por ejemplo epoxi.
 - Fibra de vidrio: Los aeromodelos fabricados con este material son semejantes a los anteriores, se fabrican con resinas similares y también son muy resistentes; pero difieren en que son más baratos que los anteriores y en contra más pesados.
 - Elapor: Es un corcho similar en apariencia al que se utiliza para embalar pero mucho más duro y elástico. Este material es barato, ligero, muy elástico y resistente a impactos y fácil de modificar y reparar; como inconvenientes esta su baja rigidez, por lo que a menudo se suele reforzar con varillas de fibra de carbono o aluminio.
 - Madera: Tradicionalmente los aeromodelos se han fabricado con madera de balsa, contrachapado, listones,..., pero los materiales anteriores han desplazado este material que actualmente solo se usa en construcción de maquetas. Los aeromodelos contruidos en madera son más pesados y poco resistentes a impactos.

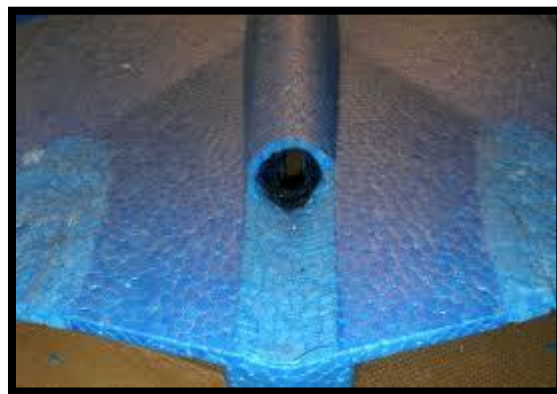


Figura 2.3. Elapor.

2.1.2. Motor.

Tenemos muchos tipos de motores, los más usados son los motores de combustión interna, como los glow, y los eléctricos. Debido a que pretendemos diseñar una aeronave ligera, fiable y autónoma, la mejor opción sería usar motorización eléctrica, ya que los motores de combustión interna pueden pararse en pleno vuelo, son más pesados y sobre todo son más difíciles de controlar por el piloto automático, ya que es mucho más sencillo conocer las revoluciones, consumo, ... en un motor eléctrico.

Encontraremos principalmente dos tipos de motores eléctricos:

1. Motores DC. En este tipo de motores el rotor es el dispositivo que gira en el centro del motor de continua y está compuesto por arrollados de cable conductor de corriente; esta corriente es suministrada al rotor por medio de las escobillas generalmente de carbón. La fuerza con la que el motor gira es proporcional a la corriente que hay por los conductores, a mayor tensión, mayor corriente y mayor par motor.



Figura 2.4. Motor DC.

2. Motores Brushless. Actualmente este tipo de motores ha desbancado a los motores DC al menos en aeromodelismo, siendo estos muy superiores en dos aspectos fundamentales: relación potencia- peso y eficiencia.

La palabra brushless se traduce como “sin escobillas”, y como su nombre indica estos motores carecen de escobillas; también a diferencia de los anteriores, estos funcionan con corriente alterna, normalmente trifásica, y tienen entre sus componentes potentes imanes de tierras raras como el neodimio.

Uno de los parámetros que casi siempre aportan los fabricantes sobre un motor brushless es el Kv, no es más que las revoluciones por minuto y voltio que da un motor. Se podría hacer un símil con los motores de dos y de cuatro tiempos, es decir para una potencia

dada, un alto kv proporcionará muchas más revoluciones que un bajo kv. Un alto Kv está indicado para aviones rápidos con una hélice pequeña, mientras que un Kv mayor es adecuado para un motovelero que lleva una hélice más grande.

Si estamos limitados por el voltaje de la batería podemos jugar con el Kv del motor para adecuar el comportamiento del conjunto a nuestro gusto, mientras que si no estamos limitados por la potencia podemos usar motores de un Kv menor y simplemente para adecuar el número de revoluciones a nuestro gusto aumentaremos el voltaje de la batería.

Las ventajas de los motores brushless son las siguientes:

- Mayor eficiencia (menos pérdidas de calor al carecer de escobillas)
- Mayor rendimiento.
- Son más silenciosos.
- Emiten menor interferencia electromagnética, no solo porque el bobinado este en el estator (outrunner), sino porque carecen de escobillas.
- Menor peso para la misma potencia.
- Requieren menos mantenimiento al no tener escobillas.
- Relación velocidad/par motor es casi constante.
- Rango de velocidad elevado al no tener limitación mecánica.
- Son más fiables.
- A diferencia de los motores DC, los brushless se pueden utilizar en la mayoría de los casos sin reductoras.

Como desventajas se presentan las siguientes:

- Mayor coste.
- El control es más complejo y caro.
- Siempre necesitan de un driver para funcionar.

Existen dos variantes de los motores brushless:

- Motores Outrunner: En este tipo de motores los bobinados de cobre se disponen en la parte interior central, mientras que los imanes están situados en una campana exterior que rodea al bobinado y a la que se conecta el eje, cuando la campana gira lo hace también el eje, estos motores producen un menor número de revoluciones, sin embargo la campana al actuar como un volante de inercia, les dota de un mayor par por lo que dan más potencia sin necesidad del empleo de una reductora, esto les hace ser más ligeros, silenciosos y económicos.



Figura 2.5. Despiece motor brushless outrunner.

- Los motores inrunner tienen más revoluciones por minuto que los outrunner, aunque en contra tienen menos par motor. La forma en la que están contruidos estos motores es disponiendo los imanes directamente en torno al eje, mientras que el bobinado es exterior y rodea el eje con los imanes, este tipo de motores tiene la ventaja de proporcionar un alto número de revoluciones por lo que su Kv es muy alto, sin embargo esto tiene la desventaja de proporcionar un par muy bajo y si queremos utilizar una hélice grande no tendremos más remedio que emplear una reductora. Este tipo de motor es muy popular en alas Zagi, donde se requiere una hélice pequeña funcionando con un gran número de revoluciones. Aunque el empleo de la reductora se podría tomar como un inconveniente, ya que puede ser una fuente más de averías y requiere de un mantenimiento, si queremos potencia y efectividad en un motor inrunner la reductora es una buena solución.

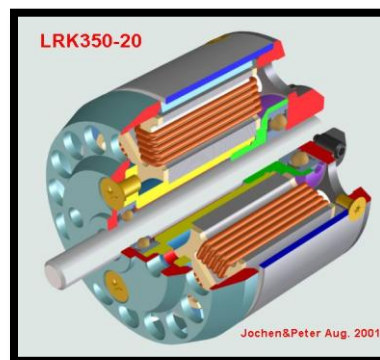


Figura 2.6. Motor Inrunner.

2.1.3. Etapa de Potencia o ESC (Electric Sistem Control).

Esta parte del sistema es muy importante, ya que va a ser la etapa que nos proporcione el control sobre el motor, es decir nos va a traducir la información de nuestro centro de control/emisora, y va a proporcionar la señal adecuada para el control de los motores. Un aspecto muy importante a tener en cuenta en esta etapa es la corriente que vamos a tener circulando por nuestro sistema.

Centrándonos en caso del ESC o variador trifásico para motores brushless este va conectando sucesivamente las bornas de la batería entre cada dos de los tres terminales del motor, positivo y negativo. Dando lugar a seis posibles configuraciones de alimentación, esta técnica de alimentación es conocida como control trapezoidal de las fases porque en vez de una tensión sinusoidal como es la trifásica de verdad) se alimenta cada bobina con una tensión “parecida” a trapecios que varían entre las tensiones positiva y negativa de las baterías.

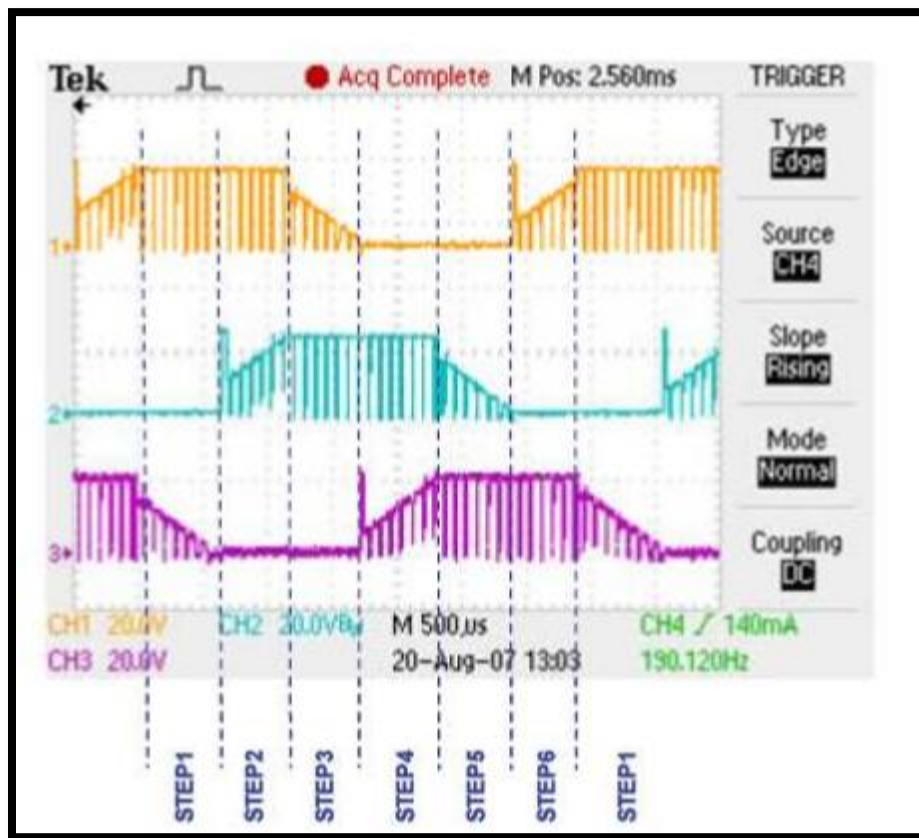


Figura 2.7. Forma de onda a la salida del ESC.

En esta figura se puede ver la tensión que en los tres bobinados a lo largo de una vuelta pasos 1 al 6 (se ven las conmutaciones del variador, que son los palitos verticales de por medio de la onda).

El tercer bobinado lo utiliza el variador para saber cuándo ha de hacer la próxima conmutación, técnica “sensorless”, que depende de la velocidad de giro del eje del motor que también ha de medir el variador.

Para hacer estas tareas la corriente ha de pasar por ciertos circuitos en el variador, que lógicamente generan ciertas pérdidas de tensión, en caso de un variador por MOSFET hay una caída correspondiente a varios miliohmios en el camino de ida y otras tantas en el camino de vuelta de la corriente; por eso se calienta.



Figura 2.8. ESC de 60 Amperios.

BEC

La mayoría de los variadores incluyen un BEC o battery eliminator circuit, estos dispositivos reducen el voltaje de la batería y ofrecen una salida a 5 o 6 voltios que alimentara al receptor de radio. Los hay de dos tipos:

- regulados (o lineales): tienen pérdidas de energía eléctrica pero no meten ruido al receptor.
- conmutados: tienen un rendimiento cercano al 100% y por tanto apenas tienen pérdidas de energía eléctrica, pero pueden meter ruido al receptor, por lo que es conveniente poner una ferrita en el cable que va al receptor. Son más adecuados para alimentar servos de gran tamaño, que consumen bastante electricidad.

También tenemos la opción de poner un BEC externo, pero para simplificar el sistema seria conveniente elegir un variador con BEC incorporado.

2.1.4. Hélices.

La hélice es el elemento que genera el empuje disponible para vencer la resistencia aerodinámica y así poder avanzar hacia delante. La hélice es girada por el eje del motor, transmitiendo su energía cinética al fluido en el que se mueve, acelerándolo y generando tracción.

Las hélices se diferencian por los siguientes características:

- su diámetro
- su paso
- el peso
- su perfil aerodinámico
- el número de palas.

Su talla se expresa a menudo en pulgadas. Por ejemplo una hélice de 12×8 hace referencia a 12 pulgadas de diámetro por 8 pulgadas de paso.

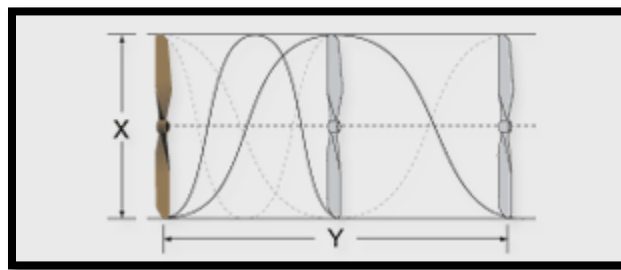


Figura 2.9. Diámetro y paso de una hélice.

La hélice dadas sus cualidades aerodinámicas, transforma el par motor en una fuerza que asegura el desplazamiento del avión en el aire. La hélice se asemeja mucho al ala de un avión, dispone de borde de ataque, de borde de fuga y de perfil. El perfil de la hélice y su ángulo de ataque varía a medida que nos acercamos desde su centro hasta su punta porque la velocidad de la hélice es menor en su zona central y aumenta a medida que nos alejamos de su eje hacia la punta.

Un factor importante en las hélices es el paso. Para un mismo diámetro de hélice cambiar de paso por analogía a la automoción es como cambiar de marchas. El paso de una hélice es el ángulo que forman las palas con respecto a la dirección del aire en relación al avión.

¿Es mejor un paso pequeño o uno grande?

Un paso pequeño aporta mejor rendimiento en el despegue, en subidas, y ayuda a frenar el avión al ralentí. Las hélices de paso pequeño son adecuadas para vuelos lentos.

Un paso grande aporta mejor rendimiento en el vuelo. Las hélices de paso grande son adecuadas para vuelos rápidos.

Calculo de hélices

Supongamos que tenemos un motor o eléctrico o glow, el que sea y el fabricante nos recomienda por ejemplo una hélice de 9 x 4,7. Podríamos jugar con diferentes hélices siempre y cuando no nos pasásemos del **factor de carga** para esa hélice, para ello emplearíamos esta formula:

Factor de carga = Diámetro al cuadrado por el paso.

El primer número de una hélice significa el diámetro y el segundo el paso, esta medida generalmente viene dada en pulgadas por los distintos fabricantes.

Ejemplo:

La hélice que nos recomiendan en este caso es de 9 x 4,7 si le aplicamos la formula tenemos:

$$FC = 9 \times 9 \times 4,7 = 380,7$$

Nuestro factor de carga seria 380,7.

Quiere decir que este seria el número dado para hacernos una idea de lo que soportaría el motor según el fabricante.

El diámetro de una hélice nos da el empuje y el paso hace que el flujo de aire que atraviesa dicha hélice salga a mayor velocidad.

Si queremos un modelo con unas características especiales de vuelo podemos probar con otras hélices siempre que no nos pasemos del factor de carga.

Con una hélice de 8 x 5,5 tendríamos:

$$FC = 8 \times 8 \times 5,5 = 352$$

Tendríamos un modelo con el mismo motor que arrastraría menos peso pero a mayor velocidad. Y con una 10 x 4.

$$FC = 10 \times 10 \times 4 = 400$$

Nos pasaríamos un poco, pero arrastraría un modelo mas pesado con un vuelo lento.

2.1.5. Servomotores.

Los servomotores o servos, como se conocen comúnmente, son dispositivos actuadores que tienen la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y de mantenerse estable en dicha posición, consiguiendo así por ejemplo el movimiento de las superficies móviles de la aeronave. Están formados por un motor de corriente continua, una caja reductora y un circuito de control, y su margen de funcionamiento generalmente es de menos de una vuelta completa.

El componente principal de un servo es un motor de corriente continua, que realiza la función de actuador en el dispositivo: al aplicarse un voltaje entre sus dos terminales, el motor gira en un sentido a alta velocidad, pero produciendo un bajo par. Para aumentar el par del dispositivo, se utiliza una caja reductora, que transforma gran parte de la velocidad de giro en torsión.

Control de Posición. El dispositivo utiliza un circuito de control para realizar la ubicación del motor en un punto, consistente en un controlador proporcional.

El *punto de referencia* o *setpoint* que es el valor de posición deseada para el motor se indica mediante una señal de control cuadrada. El ancho de pulso de la señal indica el ángulo de posición: una señal con pulsos más anchos (es decir, de mayor duración) ubicará al motor en un ángulo mayor, y viceversa.

Inicialmente, un *amplificador de error* calcula el valor del error de posición, que es la diferencia entre la referencia y la posición en que se encuentra el motor. Un error de posición mayor significa que hay una diferencia mayor entre el valor deseado y el existente, de modo que el motor deberá rotar más rápido para alcanzarlo; uno menor, significa que la posición del motor está cerca de la deseada por el usuario, así que el motor tendrá que rotar más lentamente. Si el servo se encuentra en la posición deseada, el error será cero, y no habrá movimiento.

Para que el amplificador de error pueda calcular el error de posición, debe restar dos valores de voltaje analógicos. La señal de control PWM se convierte entonces en un valor analógico de voltaje, mediante un convertidor de ancho de pulso a voltaje. El valor de la posición del motor se obtiene usando un potenciómetro de realimentación acoplado mecánicamente a la caja reductora del eje del motor: cuando el motor rote, el potenciómetro también lo hará, variando el voltaje que se introduce al amplificador de error.

Una vez que se ha obtenido el error de posición, éste se amplifica con una ganancia, y posteriormente se aplica a los terminales del motor.

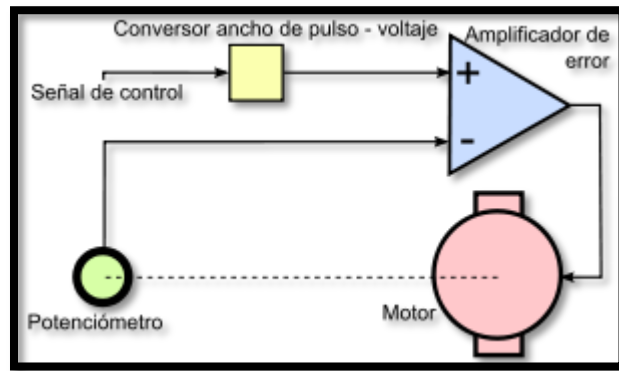


Figura 2.10. Esquema de control de un servo.

Utilización. Dependiendo del modelo del servo, la tensión de alimentación puede estar comprendida entre los 4 y 8 voltios. El control de un servo se reduce a indicar su posición mediante una señal cuadrada de voltaje: el ángulo de ubicación del motor depende de la duración del nivel alto de la señal.

Cada servo, dependiendo de la marca y modelo utilizado, tiene sus propios márgenes de operación. Por ejemplo, para algunos servos los valores de tiempo de la señal en alto están entre 1 y 2 ms, que posicionan al motor en ambos extremos de giro (0° y 180°, respectivamente). Los valores de tiempo de alto para ubicar el motor en otras posiciones se hallan mediante una relación completamente lineal: el valor 1,5 ms indica la posición central, y otros valores de duración del pulso dejarían al motor en la posición proporcional a dicha duración.

Es sencillo notar que, para el caso del motor anteriormente mencionado, la duración del pulso alto para conseguir un ángulo de posición θ estará dado por la fórmula

$$t = 1 + \frac{\phi}{180}$$

donde t está dado en milisegundos y ϕ en grados. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que ningún valor —de ángulo o de duración de pulso— puede estar fuera del rango de operación del dispositivo: en efecto, el servo tiene un límite de giro —de modo que no puede girar más de cierto ángulo en un mismo sentido— debido a la limitación física que impone el potenciómetro del control de posición.

Para bloquear el servomotor en una posición, es necesario enviarle continuamente la señal con la posición deseada. De esta forma, el sistema de control seguirá operando, y el servo conservará su posición y se resistirá a fuerzas externas que intenten cambiarlo de posición. Si los pulsos no se envían, el servomotor quedará liberado, y cualquier fuerza externa puede cambiarlo de posición fácilmente.

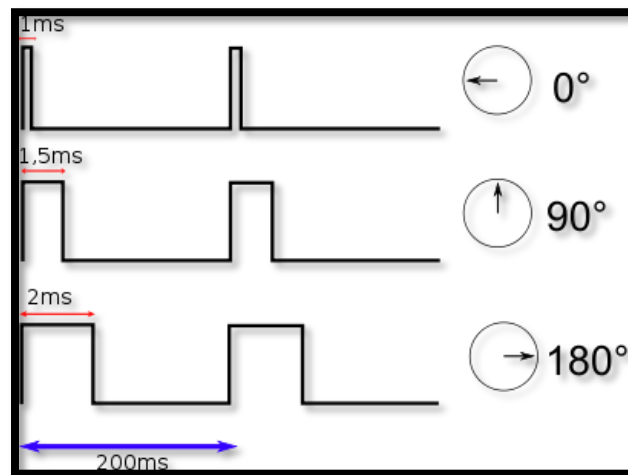


Figura 2.11. Señales de control utilizadas en servomotores.

Los servomotores tienen tres terminales de conexión: dos para la alimentación eléctrica del circuito y uno para la entrada de la señal de control. El voltaje de alimentación generalmente es de alrededor de 6 voltios, pues aunque el motor soporta mayores voltajes de trabajo, el circuito de control no lo hace.

El color del cable de cada terminal varía con cada fabricante, aunque el cable del terminal positivo de alimentación siempre es rojo. El cable del terminal de alimentación negativo puede ser marrón o negro, y el del terminal de entrada de señal suele ser de color blanco, naranja o amarillo.

Por último decir que hay servos analógicos y digitales, dependiendo del sistemas de posicionamiento que utilicen; cabe destacar que los digitales son más precisos y tienen menor tiempo de respuesta.



Figura 2.12. Servos.

2.2. Baterías.

Las baterías son los componentes que almacenaran la energía eléctrica que suministrarán a la estación de tierra, piloto automático, cámara, equipos de radiofrecuencia, motor, servos,... y dependerá de estas la autonomía de la aeronave.

Necesitaremos las siguientes baterías:

- Batería principal aeromodelo. Alimentará el motor, variador y servos.
- Batería secundaria aeromodelo. Dará servicio a toda la electrónica a bordo (piloto automático, cámara,...).
- Batería emisora de radio.
- Batería estación base, que se encargará de las pantallas, ordenadores portátiles,... y también servirá para cargar las baterías anteriores a través de un cargador de baterías.

Los parámetros más importantes a considerar en una batería son los siguientes:

- Tensión de salida (V).
- Capacidad de carga. Es la capacidad del acumulador y se mide en amperios hora (Ah).
- Capacidad eléctrica, que se mide por referencia a los tiempos de carga o descarga en amperios hora (Ah).
- Energía. Se suele medir en watios hora (Wh). La energía que puede suministrar una batería depende de su capacidad y voltaje.
- Resistencia interna. A menor resistencia interna mayor podrá ser la capacidad de descarga.
- Rendimiento. El rendimiento es la relación porcentual entre la energía eléctrica recibida en el proceso de carga y la que el acumulador entrega durante la descarga.
- Peso. Otra de las características importantes de una batería es su masa o su peso, y la relación entre ella y la capacidad eléctrica (Ah/kg) o la energía (Wh/kg) que puede restituir.
- Constante de carga/descarga C. C es una constante creada por los fabricantes que depende de los miliamperios hora especificados en la batería y que se usa para poder señalar más fácilmente la intensidad a la que debe cargarse o descargarse una batería sin que ésta sufra daños. Una C equivale a la capacidad de la batería.
- Efecto Memoria. El efecto memoria es un efecto no deseado que afecta a las baterías y por el cual en cada recarga se limita el voltaje o la capacidad (a causa de un tiempo largo, una alta temperatura, o una corriente elevada). La consecuencia es la reducción de la capacidad de almacenar energía debido a la creación de cristales en el interior de la batería.

Tipos de baterías recargables por su naturaleza interna.

Por lo que a su naturaleza interna y características electroquímicas se refiere, se encuentran habitualmente en el comercio acumuladores recargables de los tipos que se detallan a continuación.

1. Baterías de plomo-ácido.

Está constituida por dos electrodos de plomo, de manera que, cuando el aparato está descargado, se encuentra en forma de sulfato de plomo (II) (PbSO_4) incrustado en una matriz de plomo metálico en el elemento metálico (Pb); el electrolito es una disolución de ácido sulfúrico.

Ventajas.

- Bajo costo.
- Fácil fabricación.

Desventajas.

- No admiten sobrecargas ni descargas profundas, viendo seriamente disminuida su vida útil.
- Altamente contaminantes.
- Baja densidad de energía: 30 Wh/kg.
- Peso excesivo, al estar compuesta principalmente de plomo; por esta razón su uso en automóviles eléctricos se considera poco lógico por los técnicos electrónicos con experiencia. Su uso se restringe por esta razón.

Características.

- Voltaje proporcionado: 2 V/elemento.
- Densidad de energía: 30 Wh/kg.

Usos.

Este tipo de acumulador se sigue usando aún en muchas aplicaciones, entre ellas en los automóviles, para el arranque, y en aplicaciones estacionarias como acumuladores para fuentes de alimentación ininterrumpidas para equipos médicos, informáticos, equipos de seguridad, etc.



Figura 2.14. Batería de plomo.

2. Baterías de níquel-hierro (Ni-Fe).

La batería de níquel-hierro, también denominada de ferroníquel, fue inventada por Waldemar Jungner en 1899, posteriormente desarrollada por Thomas Alva Edison y patentada en 1903. En el diseño original de Edison el cátodo estaba compuesto por hileras de finos tubos formados por láminas enrolladas de acero niquelado, estos tubos están rellenos de hidróxido de níquel u oxihidróxido de níquel (NiOOH). El ánodo se componía de cajas perforadas delgadas de acero niquelado que contienen polvo de óxido ferroso (FeO). El electrolito es alcalino, una disolución de un 20% de potasa cáustica (KOH) en agua destilada.

Ventajas.

- Bajo costo.
- Fácil fabricación.
- Admite sobrecargas, repetidas descargas totales e incluso cortocircuitos sin pérdida significativa de capacidad.
- No es contaminante, no contiene metales pesados y el electrolito diluido se puede usar en aplicaciones agrícolas.
- Muy larga vida útil, algunos fabricantes hablan de más de 100 años de esperanza de vida en los electrodos y 1.000 ciclos de descarga con 100% en el electrolito. El electrolito se debe cambiar cada 20 años según instrucciones de uso redactadas por el propio Edison.
- Compuesta de elementos abundantes en la corteza de la tierra (hierro, níquel, potasio)
- Funciona en un mayor rango de temperaturas, entre -40°C y 46°C

Desventajas.

- Solo posee una eficiencia del 65%.

Características.

- Voltaje proporcionado: 1,2 - 1,4 V.
- Densidad de energía: 40 Wh/kg.
- Energía/volumen: 30 Wh/l.
- Potencia/peso: 100 W/kg.

3. Baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd).

Utilizan un cátodo de hidróxido de níquel y un ánodo de un compuesto de cadmio. El electrolito es de hidróxido de potasio. Esta configuración de materiales permite recargar la batería una vez está agotada, para su reutilización. Sin embargo, su densidad de energía es de tan sólo 50 Wh/kg, lo que hace que tengan poca capacidad.

Ventajas.

- Admiten un gran rango de temperaturas de funcionamiento.
- Admiten sobrecargas, se pueden seguir cargando cuando ya no admiten más carga, aunque no la almacena.

Desventajas.

- Efecto memoria muy alto.
- Densidad de energía baja.

Características.

- Voltaje proporcionado: 1,2 V.
- Densidad de energía: 50 Wh/kg.
- Capacidad usual: 0,5 a 1,0 A (en pilas tipo AA).
- Efecto memoria: muy alto.

4. Baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH).

Utilizan un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo de una aleación de hidruro metálico.

Ventajas.

- Este tipo de baterías se encuentran menos afectadas por el llamado efecto memoria.

Desventajas.

- No admiten bien el frío extremo, reduciendo drásticamente la potencia eficaz que puede entregar.

Características.

- Voltaje proporcionado: 1,2 V.
- Densidad de energía: 80 Wh/kg.
- Capacidad usual: 0,5 a 2,8 A (en pilas tipo AA).
- Efecto memoria: bajo.

5. Baterías de iones de litio (Li-ion).

Las baterías de iones de litio (Li-ion) utilizan un ánodo de grafito y un cátodo de óxido de cobalto, trifilina (LiFePO_4) u óxido de manganeso. Su desarrollo es más reciente, y permite llegar a altas densidades de capacidad. No admiten descargas completas y sufren mucho cuando éstas suceden; por lo que suelen llevar acoplada circuitería adicional para conocer el estado de la batería, y evitar así tanto la carga excesiva como la descarga completa.

Ventajas.

- Apenas sufren el efecto memoria y pueden cargarse sin necesidad de estar descargadas completamente, sin reducción de su vida útil.
- Altas densidades de capacidad.

Desventajas.

- No admiten bien los cambios de temperatura.
- No admiten descargas completas y sufren mucho cuando éstas suceden.

Características.

- Voltaje proporcionado:
 - A plena carga: entre 4,2 V y 4,3 V dependiendo del fabricante.
 - A carga nominal: entre 3,6 V y 3,7 V dependiendo del fabricante.
 - A baja carga: entre 2,65 V y 2,75 V dependiendo del fabricante (este valor no es un límite, se recomienda).
- Densidad de energía: 115 Wh/kg.
- Capacidad usual: 1,5 a 2,8 A (en pilas tipo AA).
- Efecto memoria: muy bajo.

Usos.

Móviles, tabletas, libros electrónicos, etc.

6. Baterías de polímero de litio (LiPo)

Son una variación de las baterías de iones de litio (Li-ion). Sus características son muy similares, pero permiten una mayor densidad de energía, así como una tasa de descarga bastante superior. Estas baterías tienen un tamaño más reducido respecto a las de otros componentes.



2.15. Batería LiPo.

Cada celda tiene un voltaje nominal de 3,7 V, voltaje máximo 4,2 y mínimo 3,0. Este último debe respetarse rigurosamente ya que la pila se daña irreparablemente a voltajes menores a 3 voltios. Se suele establecer la siguiente nomenclatura XSYP, que significa X celdas en serie, e Y en paralelo. Por ejemplo 3s2p son 2 baterías en paralelo, donde cada una tiene 3 celdas o células. Esta configuración se consigue conectando ambas baterías con un cable paralelo.

Ventajas.

- Mayor densidad de carga, por tanto tamaño reducido.
- Buena tasa de descarga, bastante superior a las de iones de litio.

Desventajas.

- Quedan casi inutilizadas si se descargan por debajo del mínimo de 3 voltios.

Tipos.

Las baterías LiPo se venden generalmente de 1S a 4S lo que significa:

- Li-PO 1S: una celda, 3,7 V.
- Li-PO 2S: dos celdas, 7,4 V.
- Li-PO 3S: tres celdas, 11,1 V.
- Li-PO 4S: cuatro celdas, 14,8 V.

Usos.

Su tamaño y peso las hace muy útiles para equipos pequeños que requieran potencia y duración, como manos libres bluetooth.

Tabla comparativa de los diferentes tipos de acumulador.

Tipo	Energía/ peso	Tensión por elemento (V)	Efecto memoria	Duración (número de recargas)	Tiempo de carga	Auto-descarga por mes (% del total)
Plomo	30-40 Wh/kg	2 V	No	1000	8-16h	5 %
Ni-Fe	30-55 Wh/kg	1,2 V	Si	+ de 10 000	4-8h	10 %
Ni-Cd	48-80 Wh/kg	1,25 V	Si	500	10-14h *	30%
Ni-Mh	60-120 Wh/kg	1,25 V	Si	1000	2h-4h *	20 %
Li-ion	110-160 Wh/kg	3,16 V	No	4000	2h-4h	25 %
Li-Po	100-130 Wh/kg	3,7 V	No	5000	1h-1,5h	10%

2.3. Emisora radiocontrol.

Usaremos una emisora de radiocontrol de aeromodelismo para el vuelo manual del drone, ya sea en 1º o 3º persona, y también la usaremos para activar el vuelo autónomo ya sea por selección o por failsafe⁴ y algunas de sus opciones como por ejemplo los waypoints. A continuación se describen las características que más nos interesan.

⁴ Es un sistema mediante el cual ante un fallo en la señal de radio se activa dejando las salidas (canales) del receptor con un valor preestablecido.

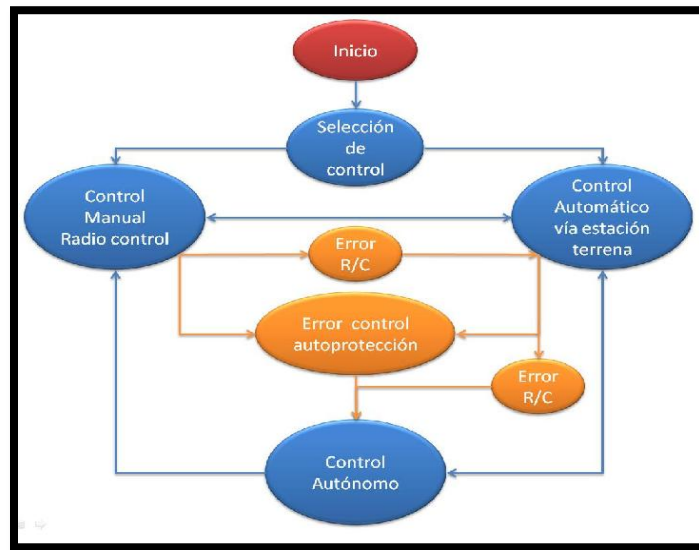


Figura 2.16. Esquema de control del UAV.

Características:

- **Canales:** Una de las características que limitan las posibilidades de una emisora es la cantidad de canales ya que de estos depende el número de órdenes diferentes que se pueden mandar al aeromodelo. Hay emisoras desde 2 a 16 canales.
- **Emisión:** Hay diferentes sistemas de emisión en AM, FM, 433Mhz, 869Mhz, 2.4ghz y diferentes métodos de codificación PCM y PPM.. Actualmente los sistemas más modernos permiten negociar los canales libres para no interferir entre varios aviones. En caso de interferencia se puede perder el control y llevar a destruir el avión o dañar a personas. Por su escasa fiabilidad descartamos los sistemas de emisión AM y FM que además están prácticamente en desuso, y nos vamos a centrar en las frecuencias de emisión en 2,4Ghz y llamados Long Range Sistem que utilizan las frecuencias 869Mhz y 433Mhz.
 - Actualmente las emisoras de radio control se han generalizado en la emisión de la frecuencia 2,4Ghz , dicha frecuencia funciona totalmente diferente a las antiguas que utilizaban un cristal con una frecuencia fija , estas más modernas emiten en una banda más ancha llamada DSS (Distribución dinámica de espectro) también utilizada por el estándar Bluetooth o Wi-Fi.
 - Por otro lado tenemos los recientes LRS (long range sistema o sistemas de largo alcance), que han surgido con el auge del fpv, ante la necesidad de lograr enlaces a más distancia de los que se consiguen con los sistemas convencionales, pudiendo llegar con estos a distancias de 100Km con potencias de emisión de 1w. Estos sistemas usan dos frecuencias, 869Mhz y 433Mhz.

Los sistemas en 2,4Ghz son muy económicos, frente al precio elevado de los lrs; pero con los lrs se consiguen enlaces a distancias muy superiores a las de los sistemas de 2,4Ghz

que suelen ser de no más de 10km. Además hay que tener en cuenta también que las frecuencias altas son más inmunes a interferencias electromagnéticas, más direccionales y más penetrantes que las frecuencias bajas que tienen más facilidad para bordear obstáculos.

- **Funciones programables:** Las emisoras actuales suelen incorporar funciones programables que permiten mezclar canales, dar respuesta exponencial a los mandos, limitar el recorrido de los servos,...

Partiendo de las características anteriores, buscaremos una emisora que tenga al menos ocho canales libres, que pueda conseguir enlaces estables a largas distancias y que ofrezca la mayor libertad a la hora de programar sus funciones.



Figura 2.17. Futaba T14MZ 2.4GHZ.

2.4. Piloto automático.

El piloto automático será el cerebro del uav, se encargara de que este sea capaz de volar sin ayuda humana o asistir al piloto en vuelos manuales. Para ellos el piloto automático deberá ser capaz de realizar las siguientes funciones:

- Return to home o vuelta a casa; es decir el piloto automatico deberá ser capaz de volver al punto del que despegó en caso de pérdida de radiocontrol, batería baja, por petición del piloto, ...
- Waypoints o ruta de puntos; tras la planificación de una ruta de vuelo el piloto automatico la interpretara y ejecutara.

- Registro de datos completo del vuelo para posteriormente analizarlo o exportarlo a Google Earth.
- Ejecutar misiones simuladas con simuladores de vuelo para PC.
- Ejecutar secuencias de comando durante las misiones.
- Repetir misiones registradas con anterioridad para posteriormente analizar todos los datos con una interfaz gráfica.
- Soportar telemetría bidireccional, para el envío de instrucciones y la recepción de datos en la estación base.
- En vuelo manual asistir al piloto estabilizando el uav y enviando datos a la estación base.
- Despegue y aterrizaje autónomo.

Para conseguir estos objetivos los pilotos automáticos de uavs normalmente hacen uso de los siguientes elementos.

1. **Microcontrolador:** son los dispositivos programables más importantes de los sistemas digitales, los cuales son la base para el control de procesos en la industria, adquisición y procesamiento de datos.

Un microcontrolador es un circuito integrado que incluye en su interior las tres unidades funcionales de un computador, CPU, memoria y unidades de E/S.

Los microcontroladores son diseñados para reducir el costo económico y el consumo de energía de un sistema en particular. Por eso el tamaño de la unidad central de procesamiento, la cantidad de memoria y los periféricos incluidos dependerán de la aplicación.



Figura 1.18. Microcontrolador 18f4550 de Microchip.

2. **Giróscopos:** El giróscopo o giroscopio es un dispositivo mecánico que sirve para medir, mantener o cambiar la orientación en el espacio de algún aparato o vehículo. Cuando el giróscopo se somete a un momento de fuerza que tiende a cambiar la orientación de su eje de rotación, tiene un comportamiento aparentemente paradójico, ya que cambia de

orientación (o experimenta un momento angular en todo caso, si está restringido) girando respecto de un tercer eje, perpendicular tanto a aquel respecto del cual se lo ha empujado a girar, como a su eje de rotación inicial. Si está montado sobre un soporte de Cardano que minimiza cualquier momento angular externo, o si simplemente gira libre en el espacio, el giróscopo conserva la orientación de su eje de rotación ante fuerzas externas que tiendan a desviarlo mejor que un objeto no giratorio; se desvía mucho menos, y en una dirección diferente.

Lo giróscopos electrónicos se basan en la vibración pero utilizando materiales a nivel molecular. Con esta tecnología lo que se permite es integrar en un chip de silicio pequeñas partes tridimensionales e incluso móviles. Lo que miden son variaciones en las vibraciones.



Figura1.19. Giróscopo electrónico y aplicación.

3. **Acelerómetros:** Se denomina acelerómetro a cualquier instrumento destinado a medir aceleraciones. Los hay mecánicos, piezoeléctricos, de efecto Hall,... pero los que realmente nos interesan son los electrónicos. Actualmente es posible construir acelerómetros de tres ejes (X,Y,Z) en un sólo chip de silicio, incluyendo en el mismo la parte electrónica que se encarga de procesar las señales.

El principio de operación de los dispositivos, acelerómetros e inclinómetros de tecnología MEMS⁵, están basados en el traspaso térmico, por convección natural. Estos dispositivos miden cambios internos, de la transferencia de calor causada por la aceleración, ofreciendo ventajas significativas sobre el empleo de una estructura tradicional sólida de masas de prueba. Ya que la masa de prueba en el diseño de los sensores MEMS son moléculas de gas, las estructuras móviles mecánicas son eliminadas dentro del acelerómetro.

⁵ Se denomina MEMS (Sistemas Micro ElectroMecánicos) a una tecnología de base que se utiliza para crear dispositivos diminutos. Este tamaño puede oscilar en pocas micras pudiendo llegar hasta un milímetro de diámetro.



Figura 1.20. Acelerómetro.

4. **Magnetómetro:** Se llama magnetómetro a los dispositivos que sirven para cuantificar en fuerza o dirección de la señal magnética de una muestra. Los hay muy sencillos, como la balanza de Gouy o la balanza de Evans, que miden el cambio en peso aparente que se produce en una muestra al aplicar un campo magnético (por el momento magnético que se induce), y también muy sofisticado, como los dotados de SQUID, que son los más sensibles actualmente. El magnetismo varía de lugar en lugar y a las diferencias en el campo magnético terrestre (la magnetósfera) y puede ser causada por las diferentes naturalezas de las rocas y la interacción entre las partículas cargadas del Sol y la magnetósfera de un planeta. Los magnetómetros son un frecuente componente instrumental de naves espaciales que exploran planetas.

En este caso el magnetómetro a utilizar será de al menos tres ejes y electrónico, actuando como si fuera una brújula digital, de forma que se podrá conocer con precisión la información de la rotación sobre el eje vertical, cabeceo y alabeo (YAW, PITCH and ROLL).

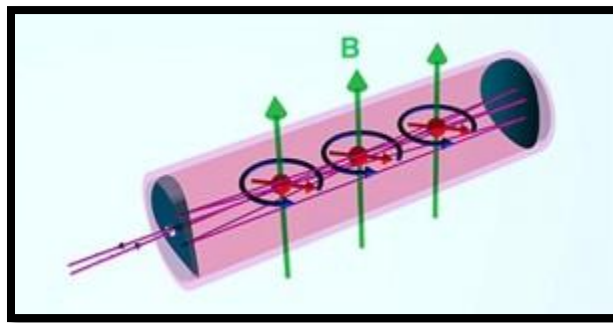


Figura 1.21. Magnetómetro atómico 3 ejes.

5. **Sensor de presión barométrica o barómetro:** Un barómetro es un instrumento que mide la presión atmosférica, siendo esta el peso por unidad de superficie ejercida por la atmósfera.

A partir de la presión atmosférica podemos obtener la altura a la que se encuentra el uav.

Este sensor funciona de forma que la presión incide sobre un piezoeléctrico que genera una tensión en función de la intensidad de la variable anterior.

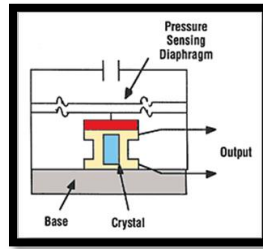


Figura 1.22. Esquema del barómetro piezoeléctrico.

6. **Modulo GPS:** El funcionamiento del sistema GPS se basa también, al igual que los sistemas electrónicos antiguos de navegación, en el principio matemático de la triangulación. Por tanto, para calcular la posición de un punto será necesario que el receptor GPS determine con exactitud la distancia que los separa de los satélites.

Desde el mismo momento que el receptor GPS detecta una señal de radiofrecuencia transmitida por un satélite desde su órbita, se genera una esfera virtual o imaginaria que envuelve al satélite. El propio satélite actuara como centro de la esfera cuya superficie se extenderá hasta el punto o lugar donde se encuentre situada la antena del receptor; por tanto, el radio de la esfera será igual a la distancia que separa al satélite del receptor. A partir de ese instante el receptor GPS medirá las distancias que lo separan como mínimo de dos satélites o más. Para ello tendrá que calcular el tiempo que demora cada señal en viajar desde los satélites hasta el punto donde este se encuentra situado y realizar los correspondientes cálculo matemáticos.

Para medir el momento a partir del cual el satélite emite la señal y el receptor GPS la recibe, es necesario que tanto el reloj del satélite como el del receptor estén perfectamente sincronizados. El satélite utiliza un reloj atómico de cesio, extremadamente exacto, pero el receptor GPS posee uno normal de cuarzo, no tan preciso. Para sincronizar con exactitud el reloj del receptor GPS, el satélite emite cada cierto tiempo una señal digital o patrón de control junto con la señal de radiofrecuencia. Esa señal de control llega siempre al receptor GPS con más retraso que la señal normal de radiofrecuencia. El retraso entre ambas señales será igual al tiempo que demora la señal de radiofrecuencia en viajar del satélite al receptor GPS, y así se calcula la distancia al primer satélite. Para poder llevar a cabo la triangulación será necesario conocer la distancia al menos a tres satélites o cuatro si además queremos conocer la altura.

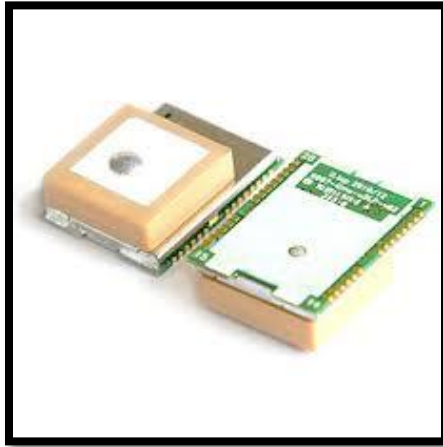


Figura 1.23. Modulo GPS.

7. **Telemetría bidireccional:** Esta será la responsable de la comunicación entre la estación base y el piloto automatico del avión, por lo que estará compuesto de dos módulos transceptores con sus respectivas antenas. Se podrá elegir entre múltiples frecuencias con las únicas restricciones de evitar que coincida con la frecuencia de radiocontrol o transmisor de video, ya que se producirían interferencias entre ellas y que sean bandas de frecuencia de uso libre como por ejemplo la de los 869Mhz. Gracias a la telemetría podremos conocer en cualquier momento en la estación base información como la posición del uav, consumo del motor, altitud, velocidad,...



Figura 1.24. Módulos Xbee Pro.

8. **Tubo pitot:** El tubo de Pitot se utiliza para calcular la presión total, también denominada *presión de estancamiento*, *presión remanente* o *presión de remanso* (suma de la presión estática y de la presión dinámica). Lo inventó el ingeniero francés Henri Pitot en 1732.¹ Lo modificó Henry Darcy, en 1858.² Se utiliza mucho para medir la velocidad del viento en aparatos aéreos y para cuantificar las velocidades de aire y gases en aplicaciones industriales. Mide la velocidad en un punto dado de la corriente de flujo, no la media de la velocidad del viento.

El tubo de pitot se utiliza como instrumento de medida de la velocidad de los aviones respecto al aire. Hay que tener en cuenta que es justamente la velocidad relativa entre el avión y el aire (IAS, Indicated Air Speed) que se conoce como la velocidad del aire indicada, es la que mantiene al avión en vuelo, no la velocidad respecto al suelo (GS ground speed). El GPS da la velocidad del avión respecto al suelo y mediante el tubo de pitot se obtiene la velocidad respecto al aire.



Figura 1.25. Tubo Pitot.

2.5. Adquisición, transmisión y visualización de video en tiempo real.

Para poder volar en primera persona o simplemente para supervisar el vuelo necesitaremos transmitir el video captado por una cámara a bordo a la estación base, de modo que mediante una capturadora de video podamos visualizarlo en un ordenador portátil junto con la telemetría recibida del uav o en unas video gafas. Para ello necesitaremos los siguientes elementos:

- 1.Cámara.** La cámara deberá cumplir con algunas funcionalidades.

- AV out, es decir debe de tener salida de video para poder transmitirlo a tierra.
- Grabación en 1080p.
- Modo disparo de fotos cada cierto intervalo de tiempo.
- Alimentación propia, es decir que incorpore una batería, ya que en caso de avería seguirá grabando y nos servirá de caja negra.
- Debe ser lo más ligera y pequeña posible.

2. Pan and till. Es el nombre que reciben los soportes con 2 ejes de movimiento para cámaras, es decir la cámara se podrá mover tanto en el eje horizontal como en el vertical. Para ello deberá equiparse con dos servomotores que deberán ir conectados al receptor de la emisora de radiocontrol.



Figura 1.26. Pan and till con cámara GoPro Hero.

3. Tx-Rx de video. El equipo de transmisión de video se encargara de enviar el video del transmisor (tx) del drone al receptor (rx) de la estación base. Hay muchos tipos de equipos de transmisión de video con potencias de emisión que van desde los 10mw hasta los 2w y en distintas frecuencias como son 900Mhz, 1.2/1.3Ghz, 2.4Ghz y 5.8Ghz. Deberemos tener en consideración que las frecuencias altas son más inmunes al ruido electromagnético mientras que con las frecuencias más bajas se consiguen mayores alcances en los enlaces. Además las frecuencias de transmisión de video no pueden coincidir con las del equipo de radiocontrol, ni equipo de telemetría.



Figura 1.27. Kit Tx-Rx de video en 1.2/1.3 Ghz.

4. Video Gafas. Mediante las video gafas podremos visualizar en tiempo real el video recibido del uav.

Este tipo de dispositivos cuentan con dos pantallas lcd una para cada ojo, y que al ver a través de ellas no transmiten la sensación de estar viendo una pantalla de cine, además son muy apropiadas para visualizar video en exteriores ya que nos aíslan de la luz ambiente y nos dan una sensación de inmersión en el vuelo grandísima.



Figura 1.28. Gafas Zeiss Cinemizer.

5. Capturadora de video USB. Este dispositivo captura el video analógico y lo transforma a digital de modo que se pueda procesar en el ordenador de la estación base.



Figura 1.29. Capturadora de video USB.

CAPITULO 3. Selección de componentes del UAV.

En el capítulo anterior hemos definido los componentes necesarios para establecer el sistema aéreo no tripulado, ahora debemos elegir los componentes que más encajen en nuestro sistema y presupuesto.

3.1. Aeromodelo y equipación.

En este apartado seleccionaremos el aeromodelo y todos los componentes necesarios para su montaje y para que este pueda volar; es decir motor, etapa de potencia, hélice, portahelices, servomotores, horns, bisagras, pegamentos,...

3.1.1. Aeromodelo.

Hemos encontrado dos productos que encajan con las características definidas en el capítulo anterior.

A. Eagle Fiberglass.

Este modelo ha sido diseñado especialmente para su uso en FPV/UAV, incluye bandejas para montaje de componentes en su interior y dispone de mucho espacio, por lo que puede ser fácil equilibrar el centro de gravedad. Es un modelo de lanzamiento manual y aterrizaje sobre el fuselaje, por lo que el hecho de estar fabricado en fibra de vidrio es un punto a favor ya que resiste muy bien la fricción de los aterrizajes y es muy resistente.

Especificaciones:

- Material: Fibra de Vidrio y madera de balsa.
- Envergadura: 1669 mm.
- Superficie alar: 34,3 dm².
- Longitud fuselaje: 1181 mm.
- Diámetro de la bancada del motor: 58 mm.
- Máxima hélice admisible: 8''.
- Peso: 2300 g.
- Canales requeridos: 4 canales.
- Servos requeridos: 4 servos.
- Tipo de propulsión: Pusher.
- Tipo de cola: En T.

Equipamiento recomendado:

- Motor: 35 a 42 series Outrunner.
- ESC: de 40A a 60A con BEC.
- Servo: 4 servos de 9g a 14g.
- Batería: 4S 2200mah a 4400mah.

Proveedor:

- Nombre: Hobbyking.
- Web: www.hobbyking.es

Precio: 165€.

Tiempo de envío: Entre 15 y 20 días.



Figura 3.1. Eagle Fiberglass.

B. Skywalker.

Al igual que el anterior este modelo ha sido diseñado para su uso en FPV/UAV, este se caracteriza sobre todo por su gran espacio interior, y por tener preparadas dos superficies exteriores para colocación de cámaras, transmisores, receptores,... Además este se diferencia en que está construido en elapor, lo que lo hace un modelo muy ligero, resistente y fácil de modificar; y en la existencia de flaps.

Especificaciones:

- Material: Elapor.
- Envergadura: 1680 mm.
- Longitud fuselaje: 1180 mm.
- Superficie alar: 35.5 dm².
- Peso: 1300g.
- Diámetro de la bancada del motor: 50 mm.
- Máxima hélice admisible: 9''.
- Canales requeridos: de 4 a 6 canales.
- Servos requeridos: de 4 a 6 servos.
- Tipo de propulsión: Pusher.
- Tipo de cola: En T.

Equipamiento recomendado:

- Motor: 850-1300Kv Brushless Outrunner.
- ESC: 30A a 45A con BEC.
- Servos: de 4 a 6 servos de 9g.
- Hélice: 9x6.
- Batería: 3S de 2200mAh a 5000mAh.

Proveedor:

- Nombre: StockRc.
- Dirección: C/ Honorio Lozano nº14 Local 18, 28400, Collado Villalba, MADRID.
- Teléfono: 91 316 14 15.
- E-mail: sales@stockrc.com
- Web: www.stockrc.com
- Identificación fiscal: CIF: 02907733G SWIFT: CESCESBBXXX

Precio: 150€.

Tiempo de envío: 2 días.

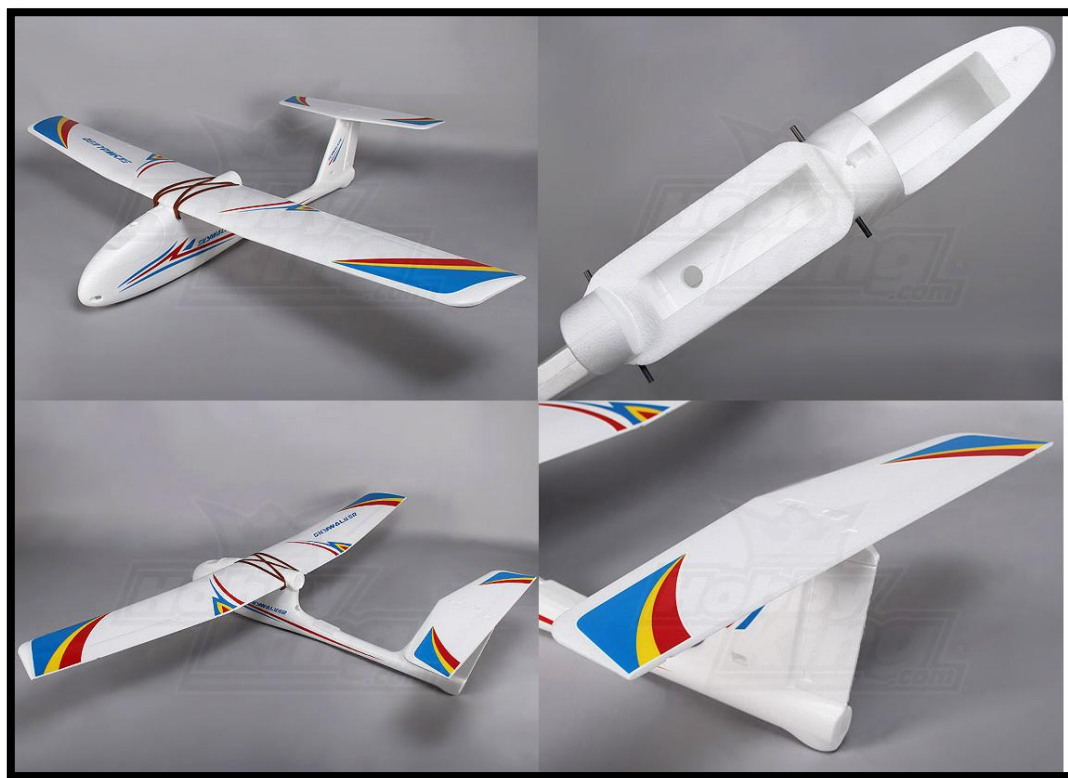


Figura 3.2. SkyWalker.

Ambos aeromodelos podrían servir para nuestro fin ya que son muy similares, salvo en algún punto, lo podemos comprobar en la tabla 3.1.

	Eagle Fiberglass	SkyWalker
Material	Fibra de vidrio y madera balsa.	Elapor
Envergadura	1669 mm	1680
Longitud	1181 mm	1180
Superficie Alar	34.3 dm ²	35.5 dm ²
Tipo de cola	T	T
Peso	2300 g	1300 g
Carga Alar (peso/superficie)	67 g/dm ²	36.6 g/dm ²
Diámetro bancada motor	58 mm	50 mm
Diámetro hélice máximo	8"	9"
Flaps	No	Si
Canales requeridos	4	4 a 6
Servos requeridos	4	4 a 6
Tipo de propulsión	Pusher	Pusher
Precio	165 €	150 €

Tabla 3.1

Los dos cumplen con las especificaciones descritas en el tema anterior, pero si los comparamos vemos que el Eagle Fiberglass es más resistente al estar fabricado en fibra de vidrio y madera de balsa, pero sin duda elegiremos el SkyWalker ya que es muy superior en dos aspectos que nos interesan más:

- Tiene flaps, lo que nos permitirá aumentar la sustentación a baja velocidad y así poder aterrizar en zonas complicadas.
- Necesitamos un aeromodelo con la mínima carga alar y el SkyWalker tiene la mitad que su competidor y por tanto tendrá capacidad para más carga de pago, volar a velocidades más bajas y será más ágil.

Además aunque la fibra de vidrio tiene más resistencia a la fricción en aterrizajes, es más dura y más rígida, que el elapor del SkyWalker, este último tiene la ventaja de ser más fácil de reparar y ser muy flexible; como se ve en la siguiente figura del ala de un SkyWalker, el ala puede flexar mucho antes de romperse. Esta característica es una ventaja, pero también un inconveniente ya que deberemos reforzar la estructura con varillas de fibra de carbono, sobre todo para evitar el temido efecto flutter¹ en las alas.



Figura 3.3. Elasticidad en ala de elapor.

¹ Es una vibración autoinducida que ocurre cuando una superficie sustentadora se dobla bajo una carga aerodinámica. Una vez que la carga se reduce, la desviación también se reduce, restaurando la forma original; esto a su vez restaura la carga original y empieza así el ciclo nuevamente. En casos extremos, la elasticidad de la estructura significa que cuando la carga se reduce, la estructura salta hacia atrás tan lejos que se sale del vector y crea una nueva carga aerodinámica en la dirección opuesta a la original. Incluso el cambio de la distribución de la masa en un aeroplano o la rigidez de un componente puede inducir esta resonancia en un componente aparentemente sin relación aerodinámica.

En su forma más inofensiva puede aparecer como un "zumbido" en la estructura del avión, pero en la más violenta se puede detonar incontrolablemente a gran velocidad y causar grandes daños o incluso la destrucción de la aeronave.

3.1.2. Motor.

Necesitamos un drone capaz de volar a poca velocidad, con facilidad para despegar y capaz de llevar con facilidad una carga de pago, para ello necesitara hélices de diámetro lo más grande posible, para conseguir mucha tracción, y con poco paso ya que queremos un vuelo lento.

Las hélices con las características anteriores pierden su rendimiento a partir de un numero de revoluciones relativamente bajo, por este motivo y puesto que en el capítulo anterior se vio que los motores brushless son muy superiores a los DC, el tipo de motor más indicado para este aeromodelo va a ser un motor brushless tipo outrunner, ya que como se comentó tienen más par motor que los motores inrunner y por ese motivo no es necesario el uso de reductoras, consiguiéndose así un sistema más fiable, eficiente, ligero y económico.

Buscaremos un motor que con una hélice de aproximadamente 9'' de diámetro, que es la máxima admisible para el Skywalker, sea capaz de mover un aeromodelo de tipo entrenador de 2000g aproximadamente.

Hemos seleccionado dos motores:

A. Turnigy TR 35-36B 1300kv Brushless Outrunner.

Especificaciones:

- Peso: 106 g.
- Medidas: 35 x 36 mm.
- Numero elementos: 2-3 LiPo.
- RPM/V: 1300.
- Eficiencia Máxima: 76%.
- Corriente máxima eficiencia : 15-25 A (> 75 %).
- Corriente Máxima : 35 A/30 s
- Diámetro del eje : 4 mm.
- Resistencia interna: 42 mΩ.
- Numero de polos: 14.
- Peso recomendado del aeromodelo: 1300g – 2000g.
- Potencia equivalente: 0.25 a 0.30 motor glow, (400w).
- ESC recomendado: 40A.
- Helice recomendada: 9x6, 10x4.7 y 10x6.

Accesorios:

- Bancada motor (incluida).
- Portahelices (incluido).

- Numero de polos: 14.
- Peso recomendado del aeromodelo: 1200g – 2000g.
- Potencia equivalente: 0.22 a 0.32 motor glow.
- ESC recomendado: 40A.
- Helice recomendada: 9.5x5, 9x6, 10x4.7, 10x5 y 10x6.

Accesorios:

- Kit Radial Mount Set (no incluido), compuesto de bancada motor y portahelices.

Proveedor:

- Nombre: StockRc.
- Dirección: C/ Honorio Lozano nº14 Local 18, 28400, Collado Villalba, MADRID.
- Teléfono: 91 316 14 15.
- E-mail: sales@stockrc.com
- Web: www.stockrc.com
- Identificación fiscal: CIF: 02907733G SWIFT: CESCESBBXXX

Precio:

- Motor: 59.24€.
- Kit Radial Mount Set: 27 €.

Tiempo de envío: 2 días.



Figura 3.5. Motor Axi 2814/12.



Figura 3.6. Set Radial Mount para Axi 2814/12.

La opción B dobla en precio a la A, pero es superior en sus especificaciones y además según las opiniones de usuarios de ambos motores, la opción B es mucho más fiable. Por los motivos anteriores se ha elegido el motor Axi 2814/12.

3.1.3. Etapa de potencia o ESC.

Para el motor Axi 2814/12, el fabricante recomienda un variador de 40A, y puesto que las características de los ESC son muy similares, nos hemos centrado en buscar una marca que ofrezca cierta calidad.

Variador Pentium-40A

Especificaciones:

- Peso : 32 g.
- Medidas : 55 x 28 x 12 mm .
- Voltaje de entrada : 2-6 LiPo.
- Intensidad máxima en continuo: 40A.
- Intensidad máxima de pico: 60A durante 10 s.
- BEC: 3A , 5V, conmutado.
- Velocidad máxima: 210,000rpm para BLM 2 Polos , 70,000rpm para BLM 6 polos, 35.000rpm para BLM 12 polos (BLM: Brushless Motor).

Características:

- Protección de armado: Independientemente de la posición de la palanca del acelerador, el motor no girará al conectar la batería.

- Calibración del acelerador: la curva de gas se puede configurar para proporcionar mayor linealidad; compatible con todos los transmisores disponibles del mercado.
- Funciones programables: Freno motor: freno activado / freno desactivado. Tipo de batería: Li-xx (Li-ion o Li-Po) / Ni-xx (NiMH o NiCd). Modo de protección por baja tensión: Reduce gradualmente la potencia de salida. Protección de corte por baja tensión: bajo / medio / alto. Modo de inicio: normal / suave / muy suave. Sincronización: bajo / medio / alto. Reset: restaurar todas las opciones programables a sus valores predeterminados.
- Características de protección completas: Protección por baja tensión / protección por sobrecalentamiento / Protección por pérdida de señal del acelerador.

Otras características:

- Condensadores de estándar militar de baja resistencia, aumenta la capacidad de prevención del ruido indeseado en la radiofrecuencia durante el vuelo.
- PCB de baja resistencia.
- Las aplicaciones del microprocesador regulan la tensión independiente IC.
- Compatible con la tarjeta de programación de Hobbywing.

Proveedor:

- Nombre: StockRc.
- Dirección: C/ Honorio Lozano nº14 Local 18, 28400, Collado Villalba, MADRID.
- Teléfono: 91 316 14 15.
- E-mail: sales@stockrc.com
- Web: www.stockrc.com
- Identificación fiscal: CIF: 02907733G SWIFT: CESCESBBXXX

Precio:

- 30 €.

Tiempo de envío: 2 días.



Figura 3.7. ESC Pentium-40A.

3.1.4. Hélices.

Axi nos recomienda para su motor 2814/12 las siguientes hélices dependiendo del aeromodelo en el que se implante, 9.5x5, 9x6, 10x4.7, 10x5 y 10x6. Aunque como se vio en el capítulo anterior nos interesa una hélice de gran diámetro y poco paso, con el fin de hacer pruebas para determinar el comportamiento y consumo del motor vamos a utilizar las siguientes hélices 8x6, 9x6 y 10x5.

A. Helice 8x6.

Especificaciones:

- Tipo hélice: APC.
- Material: Composite.
- Peso: 20 g.

Proveedor:

- Nombre: StockRc.
- Dirección: C/ Honorio Lozano nº14 Local 18, 28400, Collado Villalba, MADRID.
- Teléfono: 91 316 14 15.
- E-mail: sales@stockrc.com
- Web: www.stockrc.com
- Identificación fiscal: CIF: 02907733G SWIFT: CESCESBBXXX

Precio:

- 4.50 €.

Tiempo de envío: 2 días.

B. Helice 9x6.

Especificaciones:

- Tipo hélice: APC.
- Material: Composite.
- Peso: 22 g.

Proveedor:

- Nombre: StockRc.
- Dirección: C/ Honorio Lozano nº14 Local 18, 28400, Collado Villalba, MADRID.
- Teléfono: 91 316 14 15.
- E-mail: sales@stockrc.com
- Web: www.stockrc.com
- Identificación fiscal: CIF: 02907733G SWIFT: CESCESBBXXX

Precio:

- 4.50 €.

Tiempo de envío: 2 días.

C. Hélice 10x5.

Especificaciones:

- Tipo hélice: APC.
- Material: Composite.
- Peso: 26 g.

Proveedor:

- Nombre: StockRc.
- Dirección: C/ Honorio Lozano nº14 Local 18, 28400, Collado Villalba, MADRID.
- Teléfono: 91 316 14 15.
- E-mail: sales@stockrc.com
- Web: www.stockrc.com
- Identificación fiscal: CIF: 02907733G SWIFT: CESCESBBXXX

Precio:

- 4.50 €.

Tiempo de envío: 2 días.



Figura 3.8. Hélices estilo APC.

3.1.5. Servomotores.

Necesitaremos 8 servos para el aeromodelo y 2 para el pan and till, y de los dos últimos uno deberá ser de 360°. Además añadiremos 2 servos más para reserva.

Los servos para este aeromodelo y el pan and till deberán rondar 1,5kg/cm de par y ser lo más ligeros posibles.

Los servos de 360° no son muy comunes y no hay mucha variedad donde elegir, así que usaremos el siguiente, a pesar de que tiene más par de lo necesario y consecuentemente es más pesado.

A. Servo GWS S125 1T de 360°

Especificaciones:

- Peso: 50 g.
- Dimensiones: 40.5x20x42 mm.
- Torque: 4,8V 6,6 kg-cm / 6V 7,6 kg-cm.
- Velocidad: 4,8V 1.56s/360° (0.26s/60°) / 6V 1.28s/360° (0.21/60°).
- Piñónera: Plástico.
- Voltaje: 4.2-6V.

Proveedor:

- Nombre: StockRc.
- Dirección: C/ Honorio Lozano nº14 Local 18, 28400, Collado Villalba, MADRID.
- Teléfono: 91 316 14 15.
- E-mail: sales@stockrc.com
- Web: www.stockrc.com
- Identificación fiscal: CIF: 02907733G SWIFT: CESCESBBXXX

Precio:

- 20 €.

Tiempo de envío: 2 días.



Figura 3.9. Servo 380° GWS S125 1T

Los servos para este aeromodelo y el pan and till deberán rondar 1,5kg/cm de par y ser lo más ligeros posibles. Vamos a contemplar dos opciones:

B. Servo Futaba S-3171S.

Especificaciones:

- Peso: 10 g.
- Dimensiones: 30 x 10.8 x 29mm.
- Toque: 3.7kg/cm a 4,8v.
- Velocidad: 0.24s a 4,8v.
- Piñonera: Metálica.
- Voltaje: 4.2-6V.
- cable conector: aprox. 160mm.

Proveedor:

- Nombre: AeromodelismoSerpa.
- Dirección: Calle de Ribadavia, 16, 28029 Madrid.
- Teléfono: 913780780.
- Fax: Fax: 912947904.
- E-mail: sales@aeromodelismoserpa.com
- Web: www.aeromodelismoserpa.com

Precio:

- 54 €.

Tiempo de envío: 2 días.

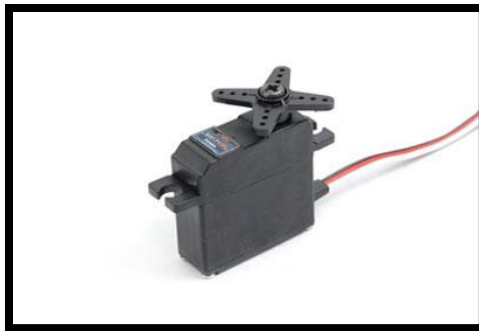


Figura 3.10. Servo Futaba S-3171S.

C. Servo 9gr. Tower Pro.

Especificaciones:

- Peso: 9 g.
- Dimensiones: 23x12.2x29mm.
- Torque: 1.5kg/cm.
- Velocidad: 0.3sec/60 grado(4.8v).
- Piñónera: Plástico.
- Voltaje: 4.2-6V.
- cable conector: aprox. 160mm.

Proveedor:

- Nombre: StockRc.
- Dirección: C/ Honorio Lozano nº14 Local 18, 28400, Collado Villalba, MADRID.
- Teléfono: 91 316 14 15.
- E-mail: sales@stockrc.com
- Web: www.stockrc.com
- Identificación fiscal: CIF: 02907733G SWIFT: CESCESBBXXX

Precio:

- 5.50 €.

Tiempo de envío: 2 días.

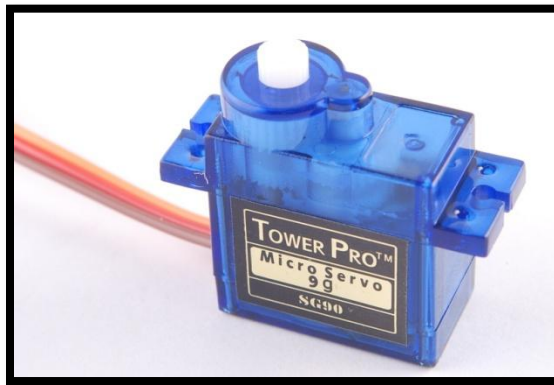


Figura 3.11. Servo Tower Pro 9gr.

Aunque la opción A es muy superior a la B y además Futaba es garantía de calidad, nos quedaremos con la opción B porque se amolda más a nuestro presupuesto.

3.1.6. Accesorios de montaje, cables, conectores, ...

Vamos a reservar una partida de 300 € para otros materiales necesarios para la ejecución de este proyecto y para posibles imprevistos. Alguno de estos materiales serán los siguientes:

- 8 Ferritas antiparasitarias, se utilizaran para evitar las interferencias en baja frecuencia en los servos.
- 10 parejas de conectores para servos, ya que tendremos que hacerlos a medida.
- 10 metros de cable de servo.
- 3 conectores 4mm hembra/macho, para las conexiones motor/ESC.
- 10 bisagras nylon, para la unión de las superficies móviles (alerones, timón dirección, elevador, flaps).
- 4 horn, para la transmisión del mando de los servos a las superficies móviles.
- 4 enganches regulables.
- 8 varillas roscadas.
- 4 kwilink.
- Tubo redondo hueco de carbono (4 x 3 x 1.000 mm).
- Pegamento de base cianocrilato espeso.
- Pegamento de dos componentes epoxi.
- Cinta americana.
- ...

3.2. Baterías.

Excepto para la estación base , para el resto utilizaremos baterías de polímero de litio por sus excelentes cualidades ya comentadas anteriormente; y para la estación base puesto que no es un problema el peso ni el volumen, utilizaremos una batería de plomo, como las utilizadas en los coches.

Nos centraremos en buscar baterías de gama media, ya las marcas de gama alta tienen precios muy elevados y las de gama media ofrecen muy buena relación calidad-precio; además la vida útil de este tipo de batería no es muy larga y van perdiendo eficiencia con el paso de los ciclos de carga y no interesa invertir demasiado al tratarse de un elemento que habrá que renovar con frecuencia.

Además deberemos añadir un cargador capaz de cargar el conjunto de baterías.

3.2.1. Batería de potencia del UAV.

Las características de esta batería van a ser uno de los principales factores que condicionaran la autonomía del drone.

El fabricante recomienda usar baterías de polímero de litio de entre 2.200mAh a 5.000mAh de capacidad, aunque se podría llegar a los 10.000mAh, y 3S (11,1V). Debemos asegurarnos de que la batería es capaz de suministrar el consumo instantáneo que demande el ESC, de lo contrario la batería se sobrecalentaría pudiendo llegar a producir una deflagración. Como el ESC podría ofrecer una salida máxima de 60A, y dividiendo entre la capacidad de la batería obtendremos los C que como mínimo deberá tener.

Necesitamos una batería de 5.000mAh, 3S, y de al menos 12C ($60A/5A=12C$), y para ello hemos encontrado la siguiente:

Batería Zippy 30C Series 5000mAh.

Especificaciones:

- Polímero de litio.
- Número de elementos: 3.
- Voltaje: 11,1V.
- Capacidad: 5000 mAh.
- Descarga: 30C Continuo = 150 A / 40C Pico = 200 A.
- Carga: 2C = 10A.
- Peso: 408 gr.
- Medidas: 144x51x27 mm.
- Conector de equilibrado: sí.
- Conector batería: 5.5 mm conectores oro.

Proveedor:

- Nombre: StockRc.
- Dirección: C/ Honorio Lozano nº14 Local 18, 28400, Collado Villalba, MADRID.
- Teléfono: 91 316 14 15.
- E-mail: sales@stockrc.com
- Web: www.stockrc.com
- Identificación fiscal: CIF: 02907733G SWIFT: CESCESBBXXX

Precio:

- 84 €.

Tiempo de envío: 2 días.



Figura 3.12. Batería Zippy 5000mAh, 30C, 3S.

3.2.2. Batería electrónica de abordo.

Esta batería debe estar dimensionada para durar más tiempo en vuelo que la batería de potencia, para que de esa forma sea esta ultima la que marque la autonomía.

Además esta batería a diferencia de la anterior, no precisa ser capaz de suministrar grandes pico de corriente, siendo el consumo de la electrónica de abordo <1 A.

Con las premisas anteriores hemos elegido la siguiente batería:

Batería Turnigy 1000mAh, 20C, 3S, LiPo Pack.

Especificaciones:

- Polímero de litio.
- Número de elementos: 3.
- Voltaje: 11,1V.
- Capacidad: 1000 mAh.
- Descarga: 20C Continuo = 20 A / 30C Pico (10 s) = 30 A.
- Carga: 2C = 2A.
- Peso: 87 gr.
- Medidas: 79.5 x 36.5 x 17mm.
- Conector de equilibrado: sí.
- Conector batería: JST-XH.

Proveedor:

- Nombre: StockRc.
- Dirección: C/ Honorio Lozano nº14 Local 18, 28400, Collado Villalba, MADRID.
- Teléfono: 91 316 14 15.
- E-mail: sales@stockrc.com
- Web: www.stockrc.com
- Identificación fiscal: CIF: 02907733G SWIFT: CESCESBBXXX

Precio:

- 15 €.

Tiempo de envío: 2 días.

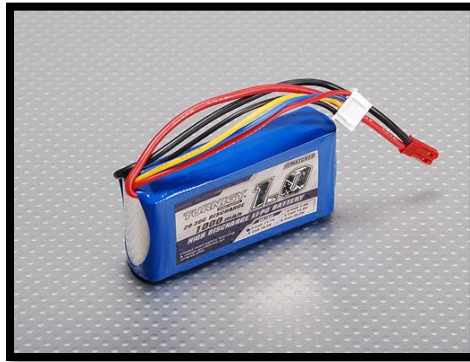


Figura 3.13. Batería Turnigy 1000mAh, 20C, 3S.

3.2.3. Batería Emisora.

En este caso la condición más importante, es que la batería sea más pequeña que el alojamiento para alimentación de la emisora de radio. Al igual que en el caso anterior la capacidad de descarga no es importante, y la capacidad tampoco, ya que la emisora tiene un consumo mínimo. Además como la emisora funciona con voltajes entre 9 y 12 voltios, la batería deberá ser de 3S.

Como los fabricantes de baterías ya prevén este uso para sus baterías, las fabrican con las características anteriores para los principales modelos de emisoras. Hemos elegido la siguiente:

Turnigy Transmitter Pack 1C 11,1V 2650mAh.

Especificaciones:

- Polímero de litio.
- Número de elementos: 3.

- Voltaje: 11,1V.
- Capacidad: 2650 mAh.
- Descarga: 1Continuo = 2,650 A.
- Carga: 1C = 2.650A.
- Peso: 155 gr.
- Medidas: 98x30x27mm.
- Conector de equilibrado: si.
- Conector batería: Futaba, Jr/Spectrum.

Proveedor:

- Nombre: ElectronicaRc.
- Dirección: Virgen del Valle 54, 3, 41011 Sevilla, Aptado Correos 12172.
- Teléfono: 655 68 69 85.
- E-mail: javier@electronicarc.com
- Web: <http://www.electronicarc.com>

Precio:

- 26.66 €.

Tiempo de envío: 2 días.



Figura 3.14. Batería Turnigy Transmitter Pack en emisora Turnigy 9x.

3.2.4. Batería estación base.

Como hemos dicho al principio utilizaremos una batería de plomo como las usadas en los coches, y nos bastará con la más pequeña que encontremos ya que estaríamos hablando de unos 50 A, que

es mucho más de lo que vamos a consumir entre alimentación del portátil, videogafas, cargador de baterías de polímero de litio, transceptor de telemetría, receptor de video,... También podríamos haber utilizado otro tipo de baterías de plomo más acordes a nuestras necesidades, pero también más caras, ya que las baterías de coche son relativamente baratas gracias al gran número de ellas que se fabrican.

Batería plomo Yuasa 063

Especificaciones:

- Voltios/elementos: 12V/6 elementos.
- Capacidad: 45 Ah.
- Intensidad de pico: 380 A.
- Peso: 12 Kg.
- Dimensiones: 207X175X190.

Proveedor:

- Nombre: Bateriamegastore.
- Web: <http://www.bateriamegastore.es>
- E-mail: ventas@bateriamegastore.es
- Dirección: Batería Megastore SL, Carrer de la Imaginació 16, Pol. Ind. Gava Park, Gava, Barcelona 08850.
- Teléfono: 936 389 073.

Precio: 53€.



Figura 3.15. Batería plomo Yuasa 45 Ah.

3.2.5. Cargador de baterías.

El cargador deberá ser capaz de cargar baterías tanto de polímero de litio de 3S como de plomo de 12 voltios; además nos interesa que funcione a 12V, de modo que podamos cargar las baterías en la estación base a través de la batería de esta y en el taller a través de un transformador 220/12 V.

Con las premisas anteriores encontremos el siguiente cargador de baterías polivalente:

Turnigy Accucel-6 50W 6A Balancer/Charger.

Especificaciones:

- Voltaje de entrada: 11-17 V.
- Potencia: Carga 50W / Descarga 5w.
- Tipo de baterías soportadas: Ni-MH/NiCd(1-15 celdas), Li-ion/LiPo (1-6 celdas), Pb (2-20 v).
- Peso: 355g.
- Funciones: Carga normal, carga rápida, descarga, balanceado de celdas, ...

Proveedor:

- Nombre: StockRc.
- Dirección: C/ Honorio Lozano nº14 Local 18, 28400, Collado Villalba, MADRID.
- Teléfono: 91 316 14 15.
- E-mail: sales@stockrc.com
- Web: www.stockrc.com
- Identificación fiscal: CIF: 02907733G SWIFT: CESCESBBXXX

Precio: 60 €.

Tiempo de envío: 2 días.



Figura 3.16. Cargador de baterías Turnigy Accucel 6.

3.3. Emisora de Radiocontrol.

La elección de este componente ha sido sencillo, las emisoras suelen llevar firmwares cerrados y por tanto es muy difícil que emisoras diseñadas para aeromodelismo se adecuen perfectamente a nuestras necesidades; además las emisoras de características definidas en el capítulo 2 tienen precios elevados.

Una excepción a la regla es la **Turnigy 9x**, una emisora low cost con una excelente relación calidad precio, que de fábrica viene con 8 canales y con modulo transmisor en 2,4Ghz, pero que mediante un cambio de firmware, propio o uno de los muchos de código abierto disponibles por la red, se puede conseguir una emisora totalmente adaptada a nuestras necesidades. A esto hay que sumar la posibilidad de cambiar el módulo de emisión de 2,4Ghz a un LRS (long range sistem), ya sea en 433Mhz o 869Mhz, pudiendo así conseguir enlaces de hasta 100Km.

Emisora Radiocontrol Turnigy 9x.

Especificaciones:

- Número de canales: 8ch ppm/9ch pcm.
- Display: 128*64 LCD screen.
- Tipos de vuelo: Heli/Acro/Glid.
- Numero de modelos almacenables: 8.
- Encoder type: ppm/pcm.
- Subtrim: Si.
- Interfaz de simulación: Yes.
- Buzzer: Si.
- Aviso por bajo voltaje: Si.
- 7 selectores y 3 potenciómetros.

Contenido del paquete:

- 1x Turnigy 9x.
- 1 x RF9X-V2 modulo transmisor.
- 1 x 9X8C-V2 8-canales, modulo receptor.

Proveedor:

- Nombre: ElectronicaRc.
- Dirección: Virgen del Valle 54, 3, 41011 Sevilla, Aptado Correos 12172.
- Teléfono: 655 68 69 85.
- E-mail: javier@electronicarc.com

- Web: <http://www.electronicarc.com>

Precio:

- 105 €.

Tiempo de envío: 2 días.



Figura 3.17. Turnigy 9x.

3.4. Piloto Automático.

Al igual que en el apartado anterior, nuestro principal criterio para la búsqueda de un piloto automático será la posibilidad de desarrollar este componente para nuestras necesidades, es decir buscaremos una aplicación de código abierto, lo que reduce la búsqueda a una única opción llamada **Ardupilot Mega**.

Ardupilot Mega (APM), es una aplicación de código abierto utilizada para el control de UAVs desarrollado por el grupo DIY Drones. Por tanto al ser de código abierto, permite gran flexibilidad en comparación con otras opciones de pilotos automáticos. Está desarrollado bajo la plataforma Arduino que consiste en un código C con funciones preprogramadas para microcontroladores ATMEL.

No es una aplicación de reciente desarrollo, empezó llamándose Ardupilot y estaba formado por un microcontrolador ATMEGA168, los sensores iban en una placa independiente y la configuración de los modos de vuelo o calibración del equipo de radio debían de hacerse directamente en la programación del microcontrolador.

Con el Ardupilot Mega se implementa el microcontrolador ATMEGA2560, con muchas más Entradas/Salidas y más memoria de programa, a su vez apareció el APM Planner, una potente

interfaz con la que se puede configurar de forma mucho más sencilla y rápida la aplicación según nuestras necesidades.



Figura 3.18. APM Planner.

Kit Ardupilot Mega.

El kit estará compuesto por los siguientes componentes:

- Ardupilot Mega-Arduino compatible, en esta placa está el cerebro de la aplicación, el ATMEGA2560, el microcontrolador que contiene el programa principal y a esta irán conectados todos los elementos, GPS, servomotores, ESC, placa IMU-SHIELD, ...
- Ardupilot Mega-IMU, este contiene la mayoría de los sensores utilizados (giróscopos, acelerómetros, sensor de presión).
- Cables, para la conexión del GPS y el receptor de la emisora.
- GPS Mediatek, que se conectara al Ardupilot por un puerto serie.
- Pines, para el montaje en la placa.
- Cuatro resistencias de 300 ohmios, para posible divisor de tensión.
- Magnetómetro o brújula digital.

Proveedor:

- Nombre: ElectronicaRc.
- Dirección: Virgen del Valle 54, 3, 41011 Sevilla, Aptdo Correos 12172.
- Teléfono: 655 68 69 85.
- E-mail: javier@electronicarc.com
- Web: <http://www.electronicarc.com>

Precio:

- 254€.

Tiempo de envío: 2 días.

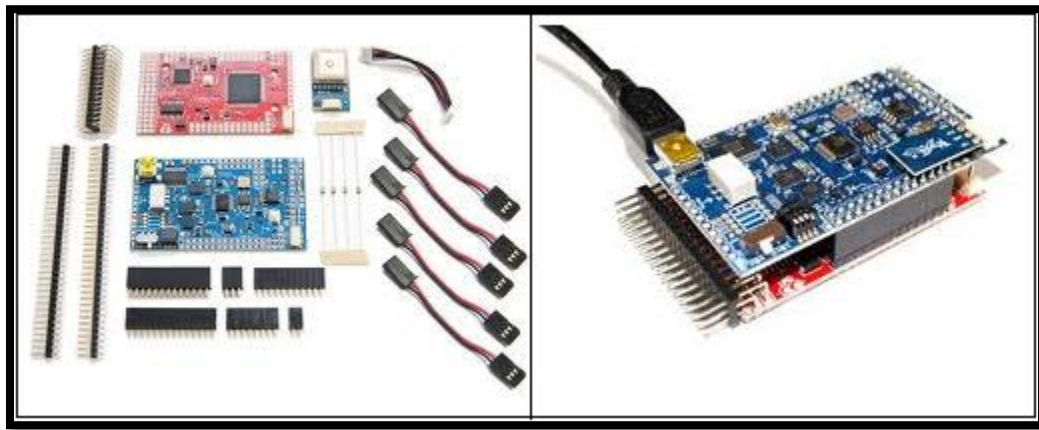


Figura 3.19. Kit Ardupilot Mega.

3.5. Telemetría bidireccional.

Utilizaremos módulos XBee ya son compatibles con Ardupilot y disponemos de muchísimas librerías de Arduino para estos transceptores.

Los módulos XBee son en realidad dispositivos ZigBee, que es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN). Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

En principio, el ámbito donde se prevé que esta tecnología cobre más fuerza es en domótica, como puede verse en los documentos de la ZigBee Alliance, en las referencias bibliográficas que se

dan más abajo en el documento «ZigBee y Domótica». La razón de ello son diversas características que lo diferencian de otras tecnologías:

- Su bajo consumo.
- Su topología de red en malla.
- Su fácil integración (se pueden fabricar nodos con muy poca electrónica).

Los módulos XBee serán los responsables de la comunicación entre la estación base y el Ardupilot Mega del drone. Uno de los parámetros más importantes a la hora de elegir un módulo XBee, es la frecuencia de trabajo, en nuestro caso debemos descartar la de 2.4Ghz, ya que es la utilizada por la emisora de radiocontrol y podrían interferir, disminuyendo el alcance del enlace o anulándolo. Por tanto la frecuencia más adecuada teniendo en cuenta también las restricciones de algunas bandas de frecuencias en Europa, será 868 Mhz.

Con la condición anterior elegimos el modulo “XBee Pro 868Mhz”, que cuenta con un alcance muy superior al XBee basic, pudiendo llegar a un alcance de varios kilómetros con las antenas de serie y hasta 40 km con antenas direccionales de alta ganancia, pero conserva las características típicas de todos los módulo ZigBee: bajo consumo, facilidad de integrar, entradas analógicas y digitales, ...

Kit XBee Pro 868 Mhz.

El kit estará compuesto por los siguientes componentes:

- 2 x Modulo XBee Pro 868 Mhz.
- 2 x Programadora XBee.
- 2 x Cable USB.
- 1 x Alimentador 12V con transformador.
- 1 x Antena amplificadora.
- 1 x XtreamBoard.

Especificaciones:

Performance	
RF Data Rate	24 Kbps (limited to 10% duty cycle)
Indoor/Urban Range	Up to 1800 ft (550 m)
Outdoor/RF Line-of-Sight Range	Up to 25 miles (40 km) with dipole antenna Up to 10 miles (16 km) with dipole antenna (13.7 dBm) - Italy only
Transmit Power	1 mW (0 dBm) to 315 mW (+25 dBm)
Receiver Sensitivity (1% PER)	-112 dBm

Features	
Serial Data Interface	3.3V CMOS Serial UART
Configuration Method	API and AT commands
Frequency Band	868 MHz ISM
Interference Immunity	Multiple transmissions, acknowledgements
Serial Data Rate	1.2 Kbps to 230.4 Kbps (nonstandard rates available)
ADC Inputs	6 (10-bit)
Digital I/O	13
Antenna Options	Wired Whip, U.FL connector, RPSMA connector
Networking & Security	
Encryption	128-bit AES
Reliable Packet Delivery	Retries/Acknowledgments
Addressing Options	Network ID, 64-bit address
Channels	Single channel
Power Requirements	
Supply Voltage	3.0 – 3.6 VDC
Transmit Current	500 mA typical at 3.3V (800 mA max)
Receive Current	65 mA typical
Power-Down Current	55 uA
Regulatory Approvals	
FCC (USA)	No
IC (Canada)	No
ETSI (Europe)	Yes (Italy 25 mW max)
C-TICK (Australia)	No
Telec (Japan)	No

Proveedor:

- Nombre: Digi.
- Dirección: Digi International Spain S.A., Milicias 13 – Bajo E, 26003 – Logroño (La Rioja) – España.
- Teléfono: 941-27-00-60.
- Fax: 941-23-77-70.
- Web: <http://www.digi.com/es/howtobuy/distiinfo.jsp?formcountry=177>.

Precio:

- 115€.

Tiempo de envío: no especificado.

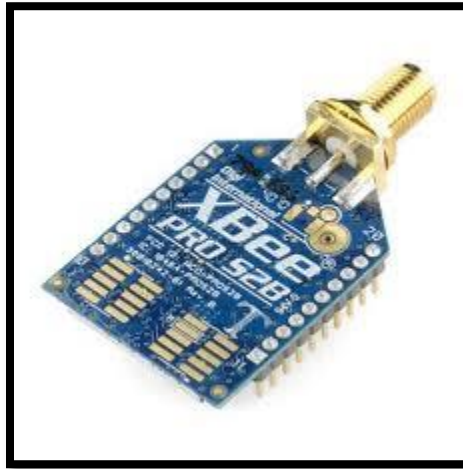


Figura 3.20. Módulo XBee Pro.

3.6. Adquisición, transmisión y visualización de video en tiempo real.

Debemos seleccionar los siguientes componentes definidos en el apartado 2.5.: Cámara, pan and till, Tx-Rx de video, video gafas y capturadora de video usb.

3.6.1. Cámara.

Necesitamos una cámara con al menos las siguientes funciones y características: AV out, grabación en 1080p, modo disparo de fotos cada cierto intervalo de tiempo, alimentación propia, ligera y pequeña.

En el mercado encontramos 3 modelos de cámaras muy similares en todas sus cualidades e incluso precio, por lo que nos vamos a quedar con la GoPro HD Hero, que es la más usada y la que más accesorios tiene disponibles en el mercado, por lo que nos será más fácil por ejemplo encontrar un pan and till a medida. No obstante nos podría haber valido cualquiera de las otras dos opciones, la Sony Action y la Contout.

GoPro HD Hero 1080 Naked.

Especificaciones:

1. Óptica de la Cámara.

- Tipo de objetivo: enfoque fijo (2ft/0,6 m – ?), cristal.

- Apertura: f/2.8 (alto desempeño en condiciones de baja luz).
- Ángulo de visión: 170º ultra gran angular en modo WVGA, 720p, o 960p.
- Ángulo de visión: 127º gran angular en modo 1080p.

2.Vídeo.

- Modos de Resolución de Vídeo HD: (sujeto a cambios, en espera del lanzamiento del firmware final).
 - **1080p** = 1920x1080 pixeles (16:9), 30 fps, transferencia de datos de 15 Mbit/s.
 - **960p** = 1280x960 pixeles (4:3), 30 fps, transferencia de datos de 12 Mbit/s.
 - **720p** = 1280x720 pixeles (16:9), 60 fps, transferencia de datos de 15 Mbit/s.
 - **720p** = 1280x720 pixeles (16:9), 30 fps, transferencia de datos de 8 Mbit/s.
 - **WVGA** = 848x480 pixeles (16:9), 60 fps, transferencia de datos de 8 Mbit/s.
- Tipo de Sensor: HD CMOS de 1/2,5", tamaño de pixeles de 2,2 µm.
- Sensibilidad de Luz: Sensibilidad en luz súper baja (>1.4 V/lux-sec).
- Formato de Vídeo: compresión H.264, guardado como archivo MPEG4 (.mp4) compatible con Windows & Mac.
- Control de Exposición: Automática con promedio central seleccionable por el usuario y configuración de medición puntual.
- Balance de Blancos: Automático.

3.Foto.

- Resolución: 5 megapíxeles.
- Modos de captura: Sencillo, Triple disparo, lapso de tiempo (1, 2, 5, 10, 30 o 60 segundos), disparador automático.

4.Audio.

- Micrófono: Incorporado, mono .
- Formato de Audio: 48 kHz, compresión de audio AAC, Control Automático de Ganancia.

5.Almacenamiento.

- Memoria: SDHC de hasta 32 GB de capacidad (clase 4 o superior recomendada: tarjeta NO incluida).
- Tiempos promedio de grabación (usando una tarjeta de memoria SD de 32G):
 - 1080p (30 fps): 4h 21m.
 - 960p (30 fps): 5h 26m.
 - 720p (60 fps): 4h 21.
 - 720p (30 fps): 8h 09m.
 - WVGA (60 fps): 8h 09m.

6.Conectores y Cables de la Cámara.

- Conexión PC: USB 2.0 (conexión de datos y carga de batería).
- Salida HDTV: HD NTSC & PAL (incluye cable de componentes).
- Salida de Audio: Combo conector 2,5mm con salida de audio estéreo y vídeo compuesto.
- Compatibilidad con PC:: Windows® Vista o Windows® 7; Mac OS® X 10.4.11 y más recientes.

7.Batería y carga.

- Tipo de batería: recargable de iones de litio.
- Duración de la batería: Aprox. 2,5 hrs.
- Carga: vía USB al ordenador o adaptador de corriente opcional.
- Tiempo de carga: 80% capacidad después de 1 hora con adaptador de corriente opcional; o 2 horas con el puerto USB del computador.

8.Carcasa Sumergible.

- Grado de Profundidad: Hasta 197 pies / 60 metros.
- Construcción: policarbonato y acero inoxidable.
- Carcasa: acero inoxidable.

9.Tamaño y Peso.

- Dimensiones (A x A x P): 1.6" x 2.4" x 1.2" (42mm x 60mm x 30mm).

- Peso: 3.3oz (94g) incl. batería, 5.9oz (167g) incl. Carcasa.

10. Accesorios Opcionales.

- Batería 1100 mAh Li-Ion Recargable Adicional.
- Línea Completa de Accesorios de Montaje.

Contenido del Pack:

- 1 Cámara HD HERO (5 megapíxeles).
- 1 Batería de iones de litio recargable.
- 1 carcasa sumergible estándar de fácil apertura (197'/60 m).
- 1 Soporte adhesivo 3M™ curvo .
- 1 Hebilla de fácil apertura.
- 1 Cable USB.
- 1 Cable de vídeo componente (HDTV).
- 1 Vídeo compuesto + Cable de salida de Audio.

Proveedor:

- Nombre: StockRc.
- Dirección: C/ Honorio Lozano nº14 Local 18, 28400, Collado Villalba, MADRID.
- Teléfono: 91 316 14 15.
- E-mail: sales@stockrc.com.
- Web: www.stockrc.com.
- Identificación fiscal: CIF: 02907733G SWIFT: CESCESBBXXX.

Precio:

- 284 €.

Tiempo de envío: 2 días.



Figura 3.21. GoPro HD Hero 1080 Naked.

3.6.2. Pan and till.

Necesitamos un soporte para la cámara capaz de efectuar dos movimientos, uno horizontal y otro vertical, de modo que podamos cambiar la orientación de la cámara; además el pan and till deberá permitir un movimiento horizontal de al menos 180°, y siendo menos importante el movimiento vertical ya que lo normal es que no necesitemos orientar la cámara hacia el cielo.

Como inicialmente la cámara la utilizaremos para poder pilotar el drone en primera persona, y para grabar el vuelo para en caso de cualquier incidente poder analizar el vuelo; no necesitaremos un pan and till muy sofisticado como los que hay para grabación de video con multirrotores que van provistos de sistemas antivibración y de estabilización automática para conseguir una imagen limpia y estable.

Así pues, nos centraremos en buscar el pan and till más sencillo y ligero del mercado.

Pan and Till GoPro StockRc.

Especificaciones:

- Este soporte fabricado en aluminio permite un movimiento sobre el eje horizontal de 360° y de 180° sobre el vertical, y destaca por tener un peso de tan solo 12gr, a lo que habría que añadir el peso de los servos.

Proveedor:

- Nombre: StockRc.
- Dirección: C/ Honorio Lozano nº14 Local 18, 28400, Collado Villalba, MADRID.
- Teléfono: 91 316 14 15.
- E-mail: sales@stockrc.com
- Web: www.stockrc.com
- Identificación fiscal: CIF: 02907733G SWIFT: CESCESBBXXX

Precio:

- 25 €.

Tiempo de envío: 2 días.

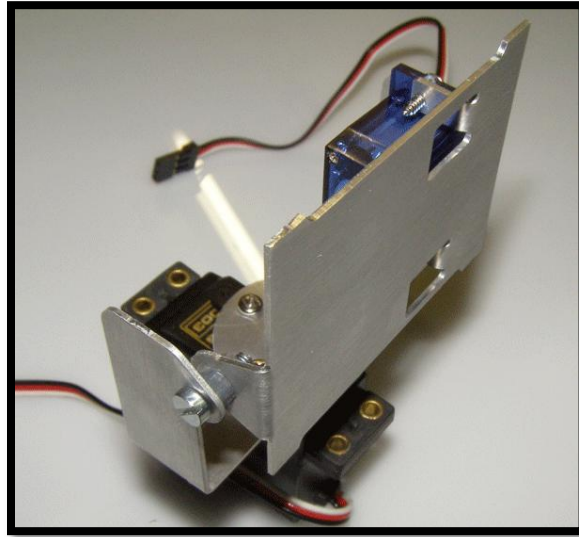


Figura 3.22. Pan and till para GoPro.

3.6.3. Tx-Rx Video.

Puesto que para radiocontrol vamos a utilizar la frecuencia 2.4Ghz, para video deberemos elegir una frecuencia distinta para evitar que interfieran los dos sistemas; nos queda 5.8Ghz, 1.2/1.3Ghz y 900Mhz. Descartamos los equipos en 900Mhz por estar muy saturada esa banda en España, que es usada para la telefonía móvil (GSM). Nos quedaría 1.2/1.3Ghz y 5.8Ghz:

Ventajas 1.2/1.3Ghz.

- Mayor alcance a igual potencia.
- Mayor capacidad de bordear obstáculos.
- Equipos más económicos.
- Frecuencia poco saturada.

Ventajas 5.8Ghz.

- Mayor inmunidad al ruido electromagnético.

- Frecuencia más direccional y penetrante.
- Mayor ancho de banda, lo que se traduce en mayor calidad de imagen.
- Gran cantidad de antenas comerciales y a precios no muy elevados, gracias al auge del uso de esta banda en las redes wifi (IEEE 802.11a).
- Apenas interfiere en otros equipos ya que los armónicos de 5,8Ghz son tan altos que no hay equipos que trabajen en esas frecuencias.
- Frecuencia poco saturada.

Aunque parece ganar la frecuencia 5.8Ghz, la característica que más nos importa es el alcance, aun en sacrificio de la calidad de imagen y enlace, ya que con 5.8Ghz es una proeza alcanzar 10-20Km aun utilizando antenas direccionales, mientras que en 1.2/1.3Ghz es fácil superar enlaces de 10Km con las antena omnidireccionales de serie. Por tanto usaremos 1.2/1.3Ghz.

Para la marca y modelo del equipo nos guiaremos por las experiencias de los usuarios.

Tx-Rx de video, 1.2-1.3 Ghz, 850 mW.

El kit estará compuesto por los siguientes componentes:

- Receptor de 8 Canales, RSSI y displaye digital. omnidireccionales de 3dB.
- Transmisor 850 mW de 8 Canales con display digital.
- Cables video/audio.
- Cables conexión transmisor.
- Jack alimentación 2.1mm.
- Placa de conexionado rápido.

Especificaciones:

1.Receptor.

- 1,2/1,3 Ghz receptor video/audio.
- - Conector RSSI (jack 3.5 mm).
- - 8 Canales con pantalla digital (PLL) (1.080 - 1.120 - 1.160 - 1.200 - 1.240 - 1.280 - 1.320 - 1.360 Ghz).
- - Conector antena: SMA.
- - Alimentación: 7-12 Voltios (Positivo el pin central).
- - Consumo: 245 mA.
- - RSSI: 0-5V, 5V= Baja señal RSSI, 0V= Señal RSSI máxima.

2. Transmisor.

- Banda: 1,2/1,3 Ghz audio/video.
- - Potencia salida RF: 850 mW.
- - 8 Canales (PLL) con pantalla digital (1.080 - 1.120 - 1.160 - 1.200 - 1.240 - 1.280 - 1.320 - 1.360 Ghz).
- - Alimentación: 12 Voltios (+/- 10%).
- - Consumo: 265 mA.
- - Conector antena: SMA.
- - Medidas: 49x25x8 mm.
- - Peso: 21 gr.

Proveedor:

- Nombre: ElectronicaRc.
- Dirección: Virgen del Valle 54, 3, 41011 Sevilla, Aptdo Correos 12172.
- Teléfono: 655 68 69 85.
- E-mail: javier@electroncarc.com
- Web: <http://www.electroncarc.com>

Precio:

- 100.21€.

Tiempo de envío: 2 días.



Figura 3.23. Tx-Rx 1.2-1.3 Ghz, 850mW.

3.6.4. Video Gafas.

La oferta de este tipo de dispositivos no es muy grande, a pesar de llevar varios años en el mercado esta tecnología no termina de despegar, pero es muy interesante para el fpv y los uav's, teniendo en estos uno de sus principales consumidores. A pesar de lo anterior hay algunas marcas que fabrican estos componentes, pero la mayoría los orienta al uso doméstico; suelen ser gafas en las que entra luz cuando se usan en exteriores y con ausencia de las entradas/salidas adecuadas para nuestro fin. Como excepción tenemos la marca FatShark, especializada en la fabricación de video gafas para FPV/UAV y que se caracterizan por:

- Ajuste perfecto de la zona ocular que evita la entrada de luz, aumentando la capacidad de inmersión en el vuelo y facilitando la visión.
- Algunos modelos incorporan receptores de video en las frecuencias más utilizadas, 1.2-1.3Ghz, 2.4Ghz y 5.8Ghz.
- Algunos modelos también incorporan un dispositivo llamado headtracker, que estando conectado a la emisora de radiocontrol, mide los movimientos de la cabeza y los envía al pan and tilt, de modo que podemos orientar la cámara a bordo con facilidad, aumentando así también la sensación de inmersión en el vuelo.
- Cuentan con Entradas/Salidas de video y audio analógico.

Hemos elegido el modelo Base, una versión en la que mediante cable se pueden conectar con cualquier receptor de video. Tienen una resolución 640x480 y un FOV de 46°, el más grande del mercado, por lo que la tele inmersión es mucho mayor. Están diseñadas y pensadas para la práctica del FPV, por lo que se ajustan perfectamente a la cara, no entran nada de luz y los 3 metros de cable te permiten una libertad de movimientos alrededor de la Estación Base. Además son robustas y muy cómodas de usar, por su bajo peso.

Fat Shark Base.

Contenido del paquete:

- Gafas Fat Shark Base.
- Funda para transportar y proteger las lentes de las gafas del Sol.
- 3m de cable de Audio y Video.
- Manual.

Especificaciones:

- Raíles para incorporación de lentes correctoras set de lentes: (-2, -4, -6 dpt. Opcional).
- Resolución: 640x480.
- FOV: 35°.

- Distancia Focal: a 2 metros del objeto.
- Distancia interpupilar: 60-70mm (ajustable).
- Conector (tipo Futaba) con 5 cables para RCA Video/AudioL/AudioR Voltaje de entrada y Voltaje de salida.
- Contraste: si.
- Brillo: si.
- Audio: estéreo (2 canales).
- Alimentación: 6-12Voltios.
- Consumo: 170 mA.
- Indicador de batería baja: mediante un led, (se ve con la gafas puesta ya que se encuentra al lado de una de las lentes).
- Señal de video: NTSC/PAL selección automática.
- Salida de audio con conector de jack 3,5mm.
- Peso de las gafas 105gr.

Proveedor:

- Nombre: ElectronicaRc.
- Dirección: Virgen del Valle 54, 3, 41011 Sevilla, Aptdo Correos 12172.
- Teléfono: 655 68 69 85.
- E-mail: javier@electronicarc.com
- Web: <http://www.electronicarc.com>

Precio:

- 210€.

Tiempo de envío: 2 días.



Figura 3.24. Gafas FatShark Base.

3.6.6. Capturadora de video USB.

Por ultimo nos falta una capturadora de video USB y hemos seleccionado esta:

Lifeview capturadora video studio 10 SE.

Contenido del paquete:

- Capturadora USB.
- CablesAV, S-Video y Audio Estereo.
- Software edición Ulead Video Studio SE.

Especificaciones:

- Compresión por hardware.
- Soporta MPEG1/2/4.
- Conexiones S-Video y Video Compuesto.
- Exporta a DVD, VCD, SVCD, DIVX, PSP, IPOD.
- Exporta directamente a tu cuenta YOUTUBE.
- Audio estéreo x2.
- Incluye software Ulead Video Studio SE.
- Compatible archivos YOUTUBE-PSP-IPOD.
- Sistemas Operativo: Windows Vista/XP/WIn7.

Proveedor:

- Nombre: APP Informática.
- Dirección: C/ Serrerías, 12, 30500, Molina de Segura, MURCIA.
- Teléfono: 968 939 186.
- Web: <http://www.appinformatica.com>.

Precio:

- 24,10€.



Figura 3.25. Capturadora de Video USB Lifeview capturadora video studio 10 SE.

3.7. Presupuesto.

Código	Descripción	Unidades	Importe unitario	Extras	Importe	Proveedor
3.1.1.	Skywalker	2	150		300	StockRC
3.1.2.	AXI 2814/12	2	59.24	27	172.48	StockRC
3.1.3.	ESC Pentium 40A	2	30		60	StockRC
3.1.4.	Hélices	2	4.50		9	StockRC
3.1.5.	Servo GWS 360º	1	20		20	StockRC
3.1.5.	Servo 9gr. Tower Pro	16	5.50		88	StockRC
3.1.6.	Accesorios de montaje	1	300		300	
3.2.1.	Zippy 5000mAh	1	84		84	StockRC
3.2.2.	Turnigy 1000mAh	1	15		15	StockRC
3.2.3.	Turnigy Transmitter	1	26.66		26.66	ElectronicaRC
3.2.4.	Batería Yuasa	1	53		53	Bateriamegastore
3.2.5.	Turnigy Accucel-6 50W 6A	1	45		60	StockRC
3.3.	Turnigy 9x	1	105		105	ElectronicaRC
3.4.	Kit Ardupilot Mega	1	254		254	ElectronicaRC
3.5.	XBee Pro 868Mhz	1	115		115	Digi
3.6.1.	GoPro HD Hero Naked	1	284		284	StockRC
3.6.2.	Pan and Tilt GoPro StockRc	1	25		29	StockRC
3.6.3.	Tx-Rx Video 1.3Ghz	1	100.21		100.21	ElectronicaRC
3.6.4.	FatShark Base	1	210		210	ElectronicaRC
3.6.5.	Capturadora Video USB	1	24.10		24.10	APP Informatica
	Gastos de envío aprox.	4	9		36	
TOTAL					2344,97	

CAPITULO 4. Montaje del Aeromodelo y primeras pruebas de vuelo.

En este capitulo vamos a llevar a cabo la construcción del aeromodelo, de forma que al final de esta fase este listo para volar como si de un avión de aeromodelismo se tratase, es decir podrá volar controlado por un piloto en tercera persona.

También se realizaran unas primeras pruebas en tierra para asegurarnos de que todo funciones correctamente y posteriormente realizaremos los primeros test de vuelo sin carga de pago, para por ejemplo ajustar perfectamente el centro de gravedad.

4.1. Montaje del Aeromodelo.

En este apartado vamos a detallar todos los pasos a realizar para que el aeromodelo este listo para volar.

Partimos del Skywalker:



Figura 4.1. Unboxing Skywalker.

Paso 1. Refuerzo del estabilizador horizontal o empenaje de cola.

Consiste en la colocación de una varilla plan de fibra de carbono en el estabilizador horizontal, de 500*4*1mm, de modo que se evitara que le estabilizador flexe, reduciendo así el riesgo de que pueda partirse.

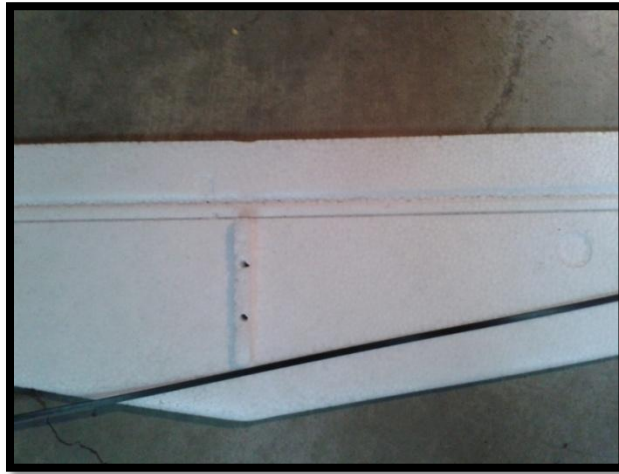


Figura 4.1. Detalle de la ranura del estabilizador horizontal y varilla de refuerzo.

Para la colocación de la varilla utilizaremos pegamento epoxi, para lo cual deberemos mezclar los dos componentes de este a partes iguales. A partir de este momento dispondremos de 2 o 3 min para aplicarlo y a los 15 min ya se habrá endurecido, aunque habrá que dejar pasar al menos 12 horas para que adquiera su máxima dureza, (los tiempos anteriores varían dependiendo del tipo de pegamento tipo epoxi que se utilice y de la proporción de la mezcla resina-catalizador).

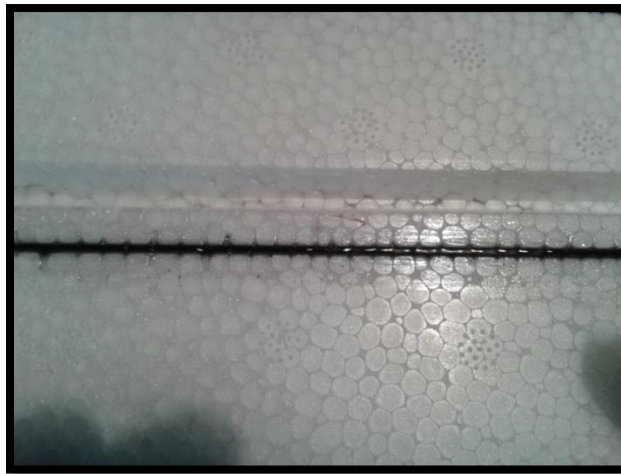


Figura 4.2. Detalle de la colocación de la varilla de refuerzo del estabilizador horizontal.

Después de la colocación de la varilla con pegamento epoxi, reforzaremos pegando una tira de cinta adhesiva a lo largo de la varilla, que se unirá al conjunto gracias al pegamento.

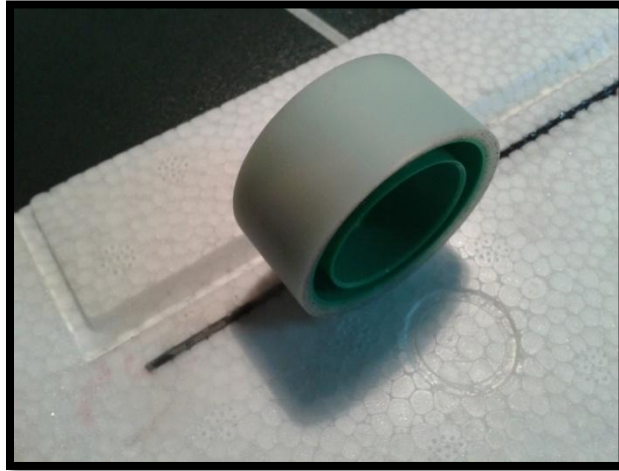


Figura 4.3. Colocación de cinta adhesiva sobre la varilla de refuerzo.

Paso 2. Abisagrado del timón de profundidad y colocación de los horms.

Primero cortaremos el timón de profundidad con un cúter.



Figura 4.4. Separación del timón de profundidad del estabilizador horizontal.

Ahora con el cúter hacemos unas hendiduras para la introducción de las bisagras; haremos 3 para las 3 bisagras de 1x10x28mm, que distribuiremos por el timón de profundidad.

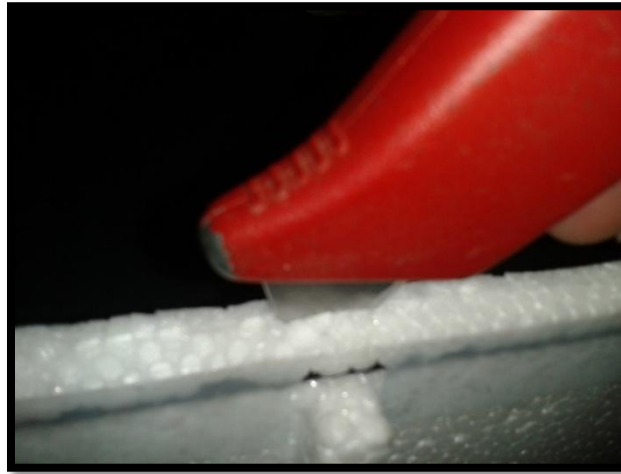


Figura 4.5. Alojamiento de las bisagras.

Una vez realizadas las hendiduras y comprobado que las bisagras encajan perfectamente, aplicaremos cianocrilato y procederemos a su colocación, primeramente en el empenaje de cola, y después en la superficie de mando.



Figura 4.6. Montaje de las bisagras.

Ahora colocaremos el horm en el hueco marcado para ello en la superficie de mando, para ello utilizaremos dos tornillos con los que atravesaremos la zona marcada, para posteriormente atornillar en la tapa del horm.

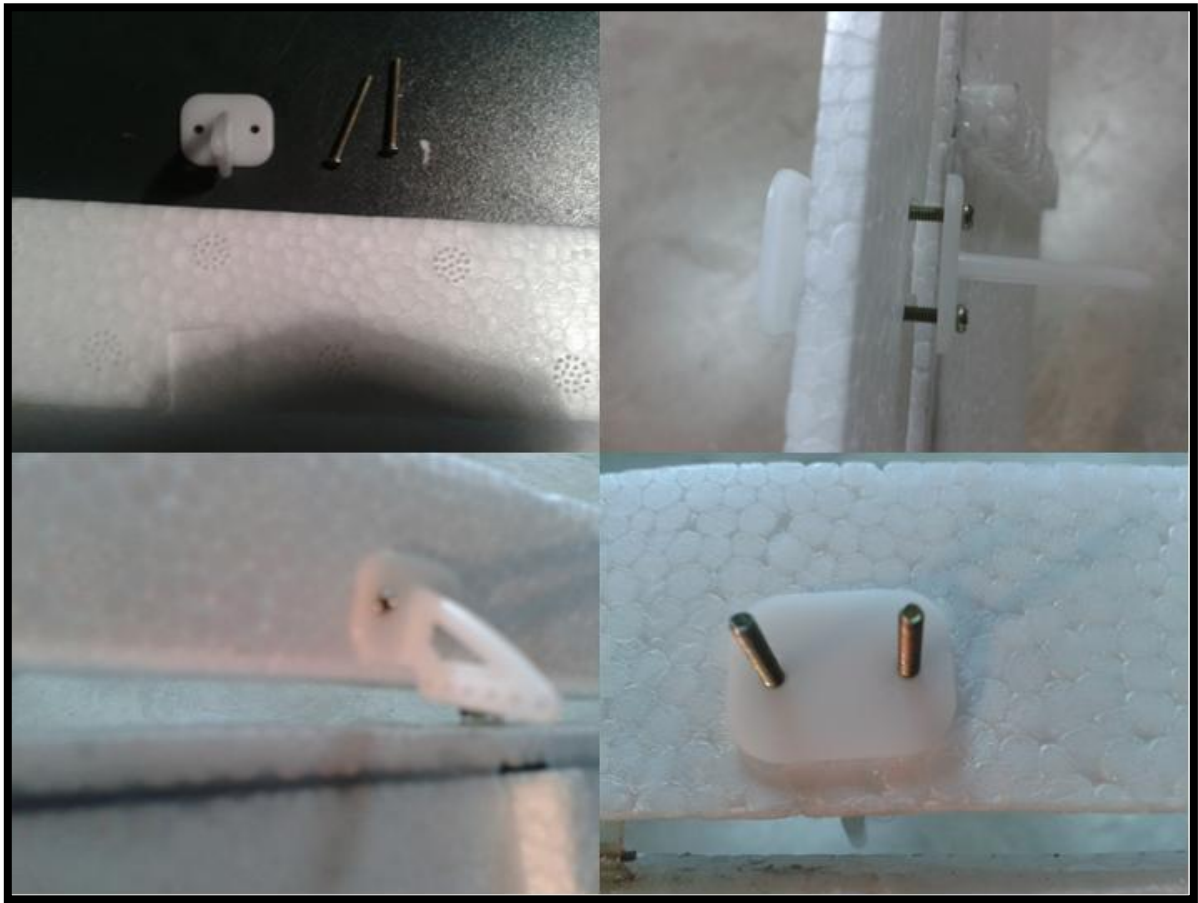


Figura 4.7. Montaje del horm del timón de profundidad.

Y finalmente cortaremos los tornillos sobrantes.



Figura 4.8. Corte de los tornillos sobrantes de horm.

Paso 3. Abisagrado del timón de dirección y colocación del horm.

Al igual que en el paso anterior debemos cortar el timón de dirección que se encuentra unido al fuselaje con la ayuda de un cúter.



Figura 4.9. Corte del timón de dirección.

Ahora colocaremos dos bisagras de 1x10x28mm en el fuselaje únicamente, ya que no colocaremos el timón aun, tendremos que esperar a pegar las dos mitades del fuselaje. Para ello utilizaremos nuevamente cianocrilato.

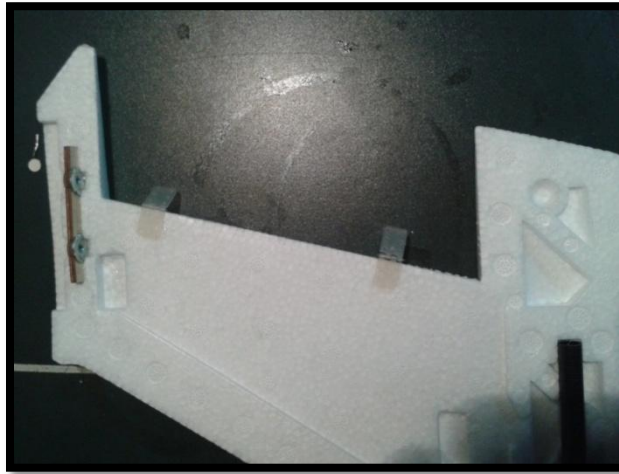


Figura 4.10. Pegado de las bisagras del timón de dirección.

Nuevamente cogeremos un horm y lo colocaremos en el hueco habilitado para ello, pero esta vez en el timón de dirección. Lo presentaremos y luego atravesaremos el corcho aplicando presión sobre los tornillos, después colocaremos la tapa del horm y la atornillaremos.

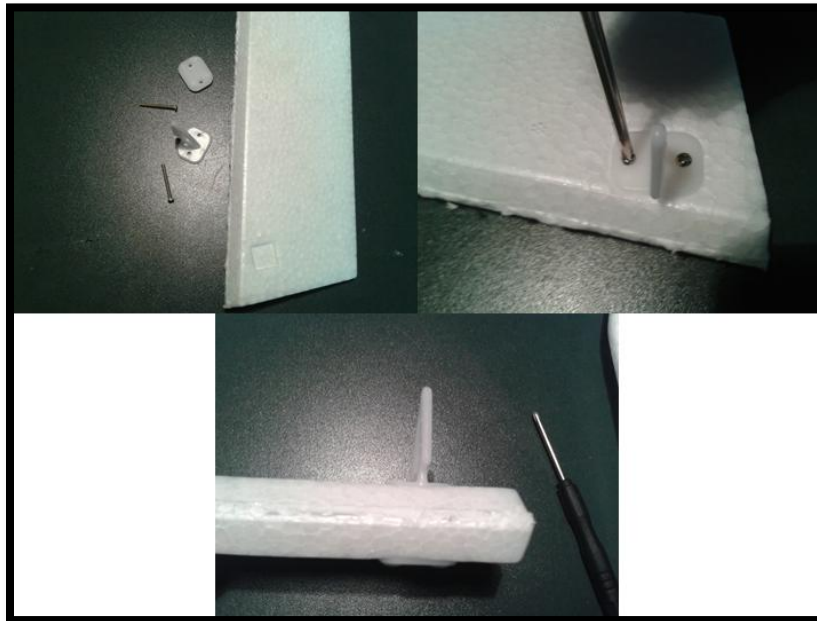


Figura 4.11. Colocación del horm del timón de dirección.

Paso 4. Abisagrado de los alerones y colocación de los horms.

Cortamos con un cúter los laterales de los alerones quedando estos libres y permitiendo así su movilidad.

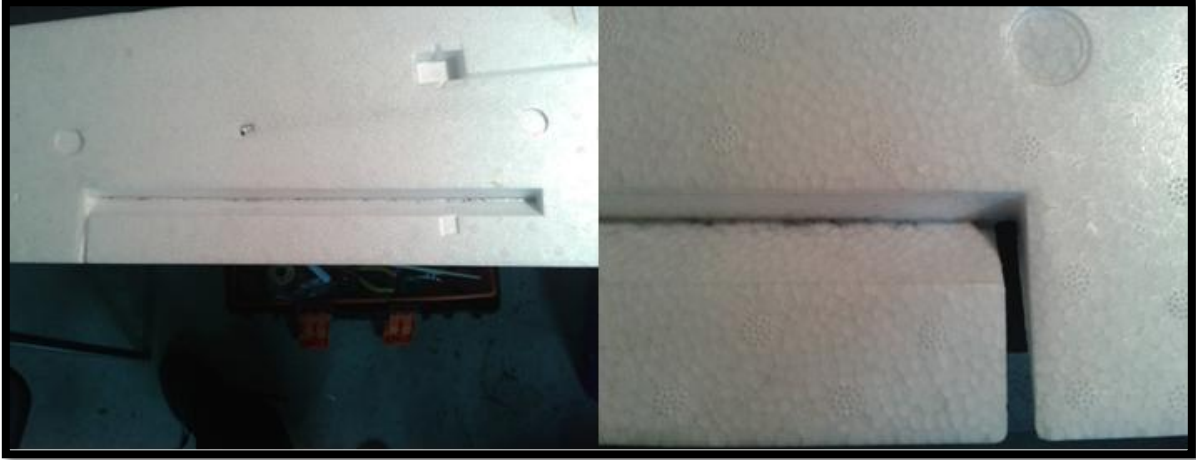


Figura 4.12. Liberación de los alerones.

Para el abisagrado de los alerones vamos a utilizar una opción más sencilla que las anteriores, vamos a aprovechar la unión del alerón con el ala, ya que es muy flexible y resistente y puede hacer perfectamente de bisagra, y para mas seguridad añadiremos cinta americana en la unión ala-alerón.



Figura 4.13. Refuerzo de la unión de los alerones.

Siguiendo los mismos pasos que anteriormente, vamos a colocar los 2 hornos de los alerones.

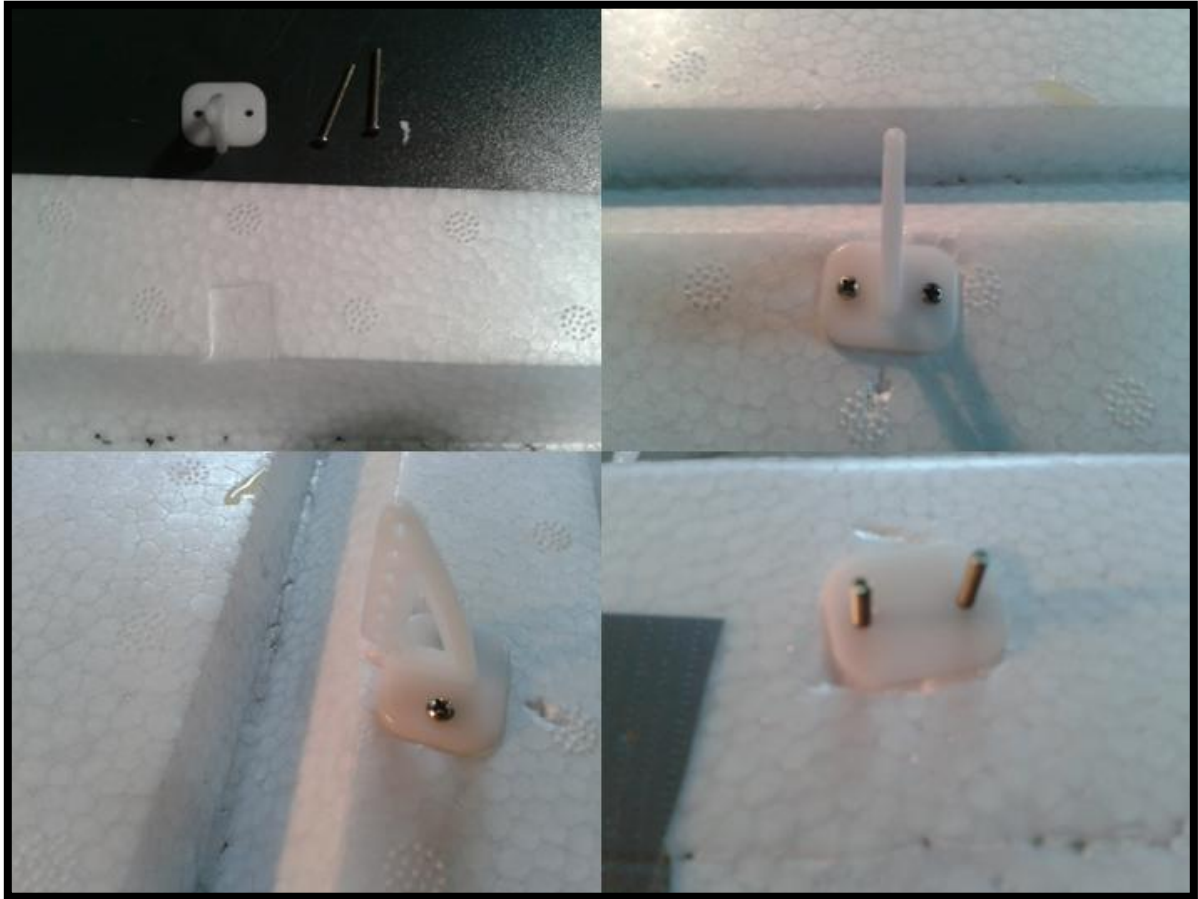


Figura 4.14. Colocación de hornos de los alerones.

Paso 5. Instalación de la varilla de fibra de carbono para el refuerzo del fuselaje.

Vamos a colocar una varilla hueca de fibra de carbono de 600*18*10mm, en la hendidura habilitada para tal fin, para ello aplicaremos pegamento de 2 componentes epoxi, y pondremos cinta adhesiva para asegurar que la varilla quede en su sitio durante el secado de la unión.



Figura 4.15. Colocación de la varilla de refuerzo del fuselaje.

Tras la retirada de la cinta adhesiva queda así:



Figura 4.16. Varilla de refuerzo del Fuselaje.

Paso 6. Refuerzo de las alas.

Para reforzar las alas utilizaremos dos varillas de fibra de carbono de 600*18*10, para el refuerzo de las alar y evitar que flexen.



Figura 4.17. Alas Skywalker.

Para ello aplicaremos pegamento de 2 componentes epoxi, de forma que pegaremos una varilla en la hendidura cercana al borde de ataque de una de las alas y la otra varilla en la hendidura cercana al borde de fuga de la otra ala.



Figura 4.18. Presentación de las varillas sobre sus hendiduras.

Tras aplicar el pegamento debemos colocar también las tapas de las hendiduras.

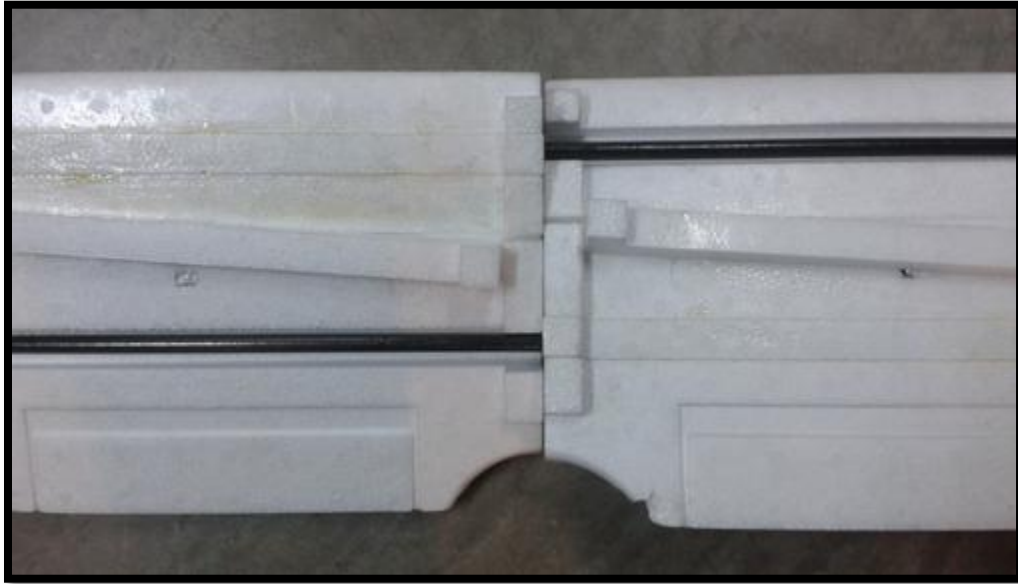


Figura 4.19. Pegado y colocación de las varillas de refuerzo de las alas.

Después colocaremos las tapas de las otras 2 hendiduras, pero esta vez aplicaremos cianocrilato para asegurarnos de que el hueco quede libre de obstrucciones y posteriormente al montar las alas puedan entrar las varillas con libertad.



Figura 4.20. Colocación de las tapas de las hendiduras.

Tras este paso las alas quedan como se ven en la próxima figura, y ya estarán en condiciones de montarse y desmontarse para el transporte.



Figura 4.21. Resultado de los últimos pasos.

Paso 7. Instalación de la base de anclaje del estabilizador horizontal.

Colocaremos dos tuercas araña de rosca métrica de 3mm en el rectángulo de contrachapado de 60x12x3 mm, tal y como se ve en la figura.

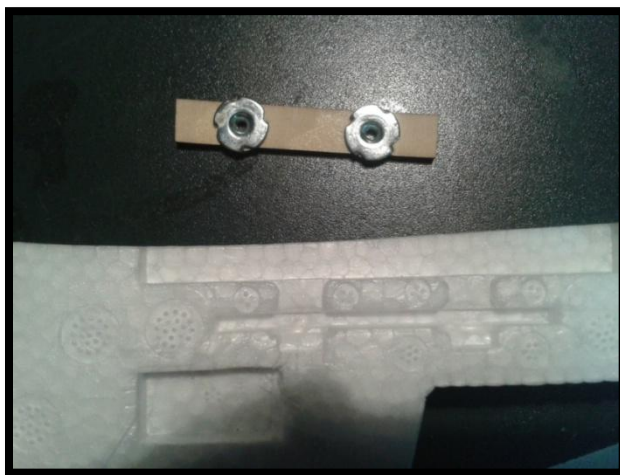


Figura 4.22. Colocación de tuercas arañas de rosca métrica de 3mm.

A continuación pegaremos el conjunto anterior en la mitad derecha del fuselaje, de forma que la base de las tuercas araña quede hacia abajo.

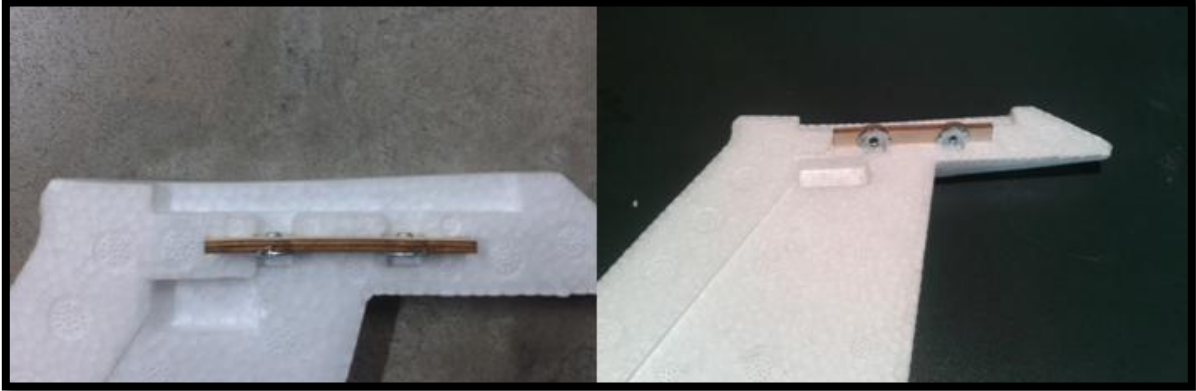


Figura 4.23. Colocación y pegado de la base de anclaje del estabilizador horizontal.

Paso 8. Instalación de la base de anclaje de la gabina.

Primeramente colocaremos una tuerca araña de M3, en la base de sujeción de la gabina. Después colocaremos el rectángulo de contrachapado anterior de 30x35 mm con tuerca araña en la mitad derecha del fuselaje. Para ello aplicaremos cianocrilato y lo colocaremos en el menor tiempo posible.



Figura 4.24. Colocación de la base de anclaje de la gabina.

Por ultimo colocaremos el cuadrado de contrachapado con agujero en el centro para guiado del tornillo de sujeción de la gavina. Al igual que en la pieza anterior pegaremos esta con cianocrilato, y la colocaremos en su hendidura en la gabina.

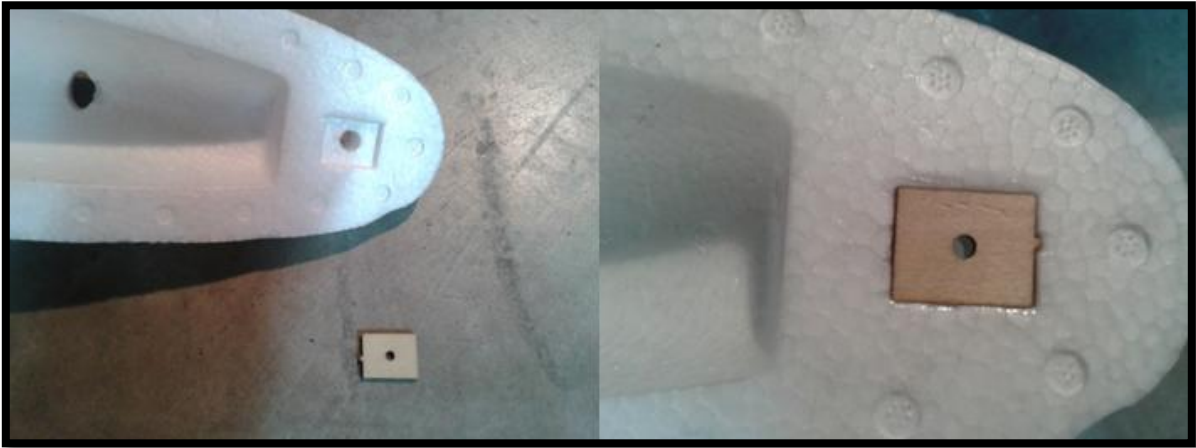


Figura 4.25. Colocación del cuadrado de 20x25mm.

El conjunto anterior quedara temporalmente así:



Figura 4.26. Anclaje de la gabina.

Paso 9. Instalación de los servos de cola.

Partiremos de la mitad derecha del fuselaje, y los dos servos, uno que actuara sobre el timón de profundidad y el otro que lo hará sobre el de dirección.

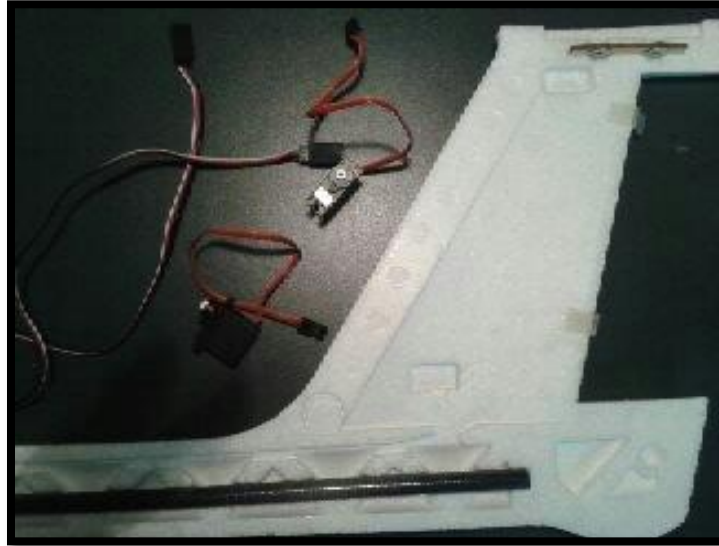


Figura 4.27. Servos y cola del avión.

Presentamos lo servos en su base y los conectamos a los alargadores de los cables de los servos.

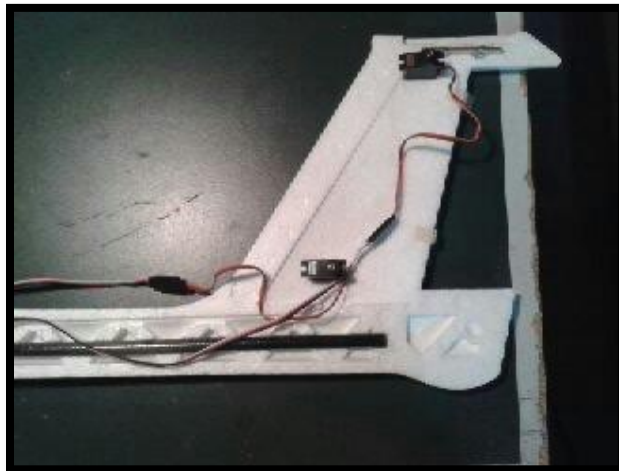


Figura 4.28. Conexión de alargadores de servos y presentación de componentes.

Ahora ordenaremos los cables y pegaremos estos a la par que hacemos lo mismo con los servos, para ello utilizaremos cola caliente.



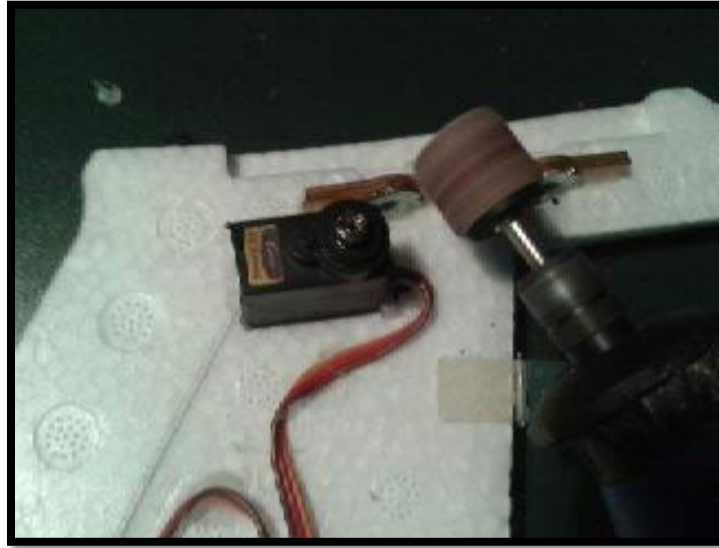
Figura 4.29. Pegado con cola caliente de servos y cables.

Con la ayuda de una multiherramienta y un disco de corte, cortaremos los salientes de los servos. Si no realizáramos esta operación no podríamos montar la otra parte del fuselaje, pues no encajaría.



Figura 4.30. Corte de los salientes de los servos.

Después lijaremos con la multiherramienta y el accesorio de lija.



4.31. Lijado de los bordes de los servos.

Una vez pegados los servos deberemos guiar los alargadores de cable de servo hasta la bodega.

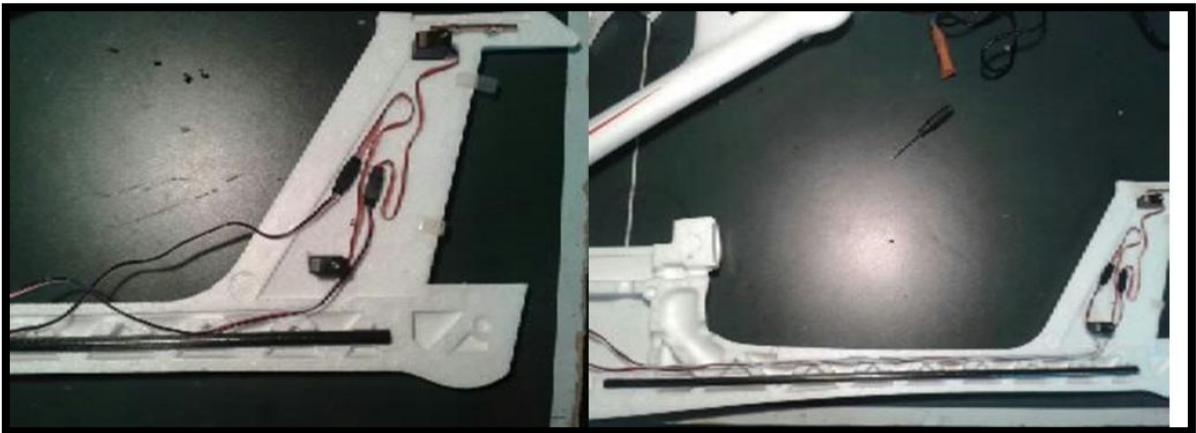


Figura 4.32. Guiado de los cables de los servos hacia la bodega.

Y después los pegaremos con cola caliente.



Figura 4.33. Detalle de la colocación de los cables de los servos de cola.

Paso 10. Instalación del variador o ESC.

El ESC lo ubicaremos en el siguiente hueco, muy próximo al motor, así conseguiremos utilizar el mínimo cable posible a la salida del ESC hacia el motor, minimizando así el ruido electromagnético producido por la señal trifásica que crea el ESC. Además de este criterio, también trenzaremos los tres cables de la salida trifásica, de modo que parte de las interferencias de cada fase se anularan con las de sus complementarias.

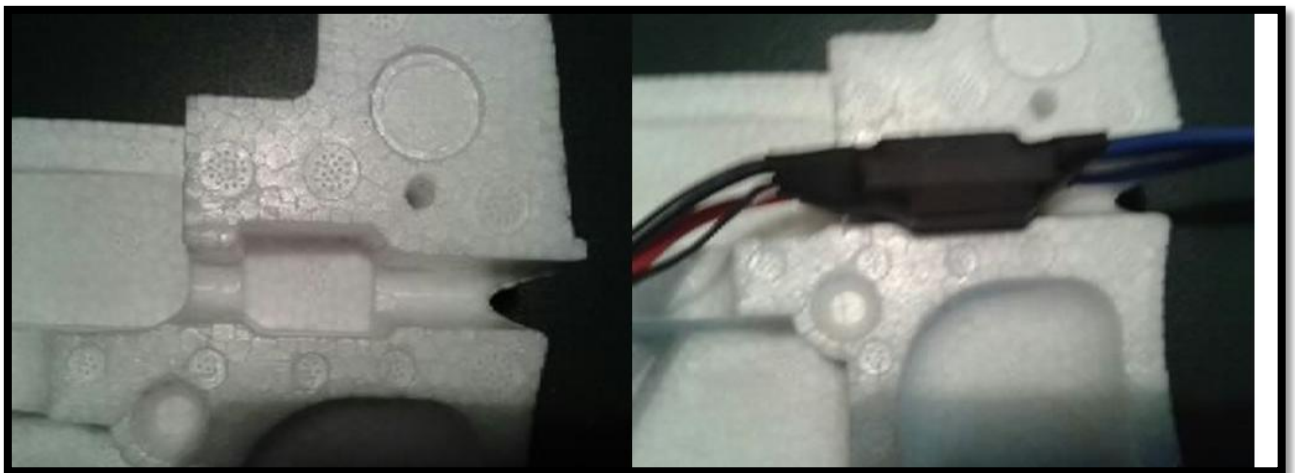


Figura 4.34. Alojamiento del ESC.

Acondicionamos el hueco para que quepa el variador.



Figura 4.35. Acondicionamiento del alojamiento del ESC.

Antes de la colocación del ESC debemos prepararlo, para ello empezaremos, soldando los dos cables de 4mm de sección que irán del variador a la batería. Procederemos como se muestra en la figura 4.36., primero mediremos el cable necesario, lo cortaremos y pelaremos 1cm de cable en las puntas; después trenzaremos los cables del variador con los cables a soldar y una vez estén unidos calentaremos con el soldador y aplicaremos estaño.

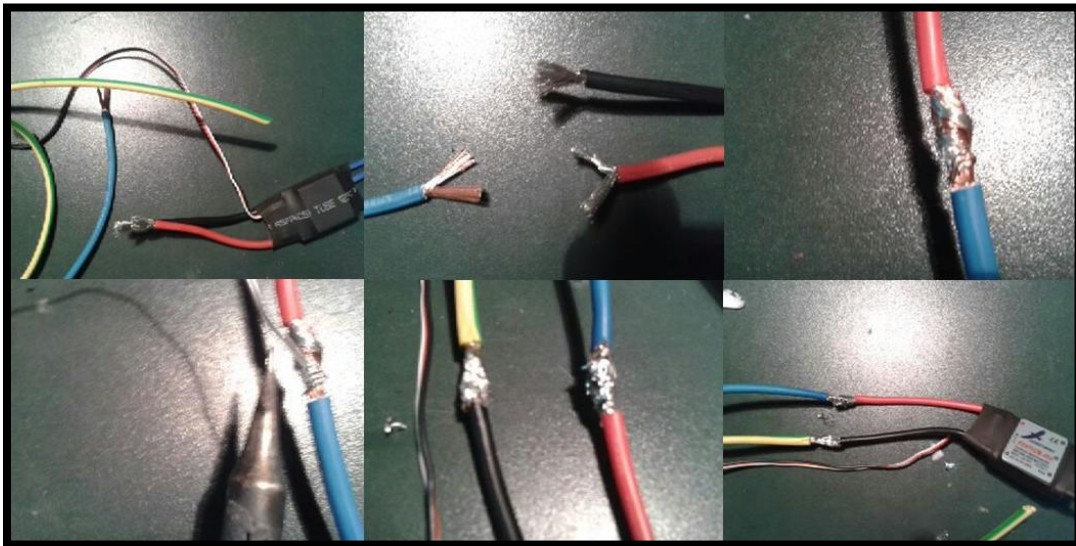


Figura 4.36. Soldadura de los cables del ESC.

Tras la soldadura añadiremos la funda termoretractil, que nos evitara contactos eléctricos indeseados. Cortaremos dos trozos de funda termoretractil de forma que cubran sobradamente las soldaduras, después las introduciremos por el cable y una vez colocadas sobre la unión, aplicaremos calor con un decapado o encendedor sobre las fundas, estas se encogerán y quedaran adheridas con firmeza.

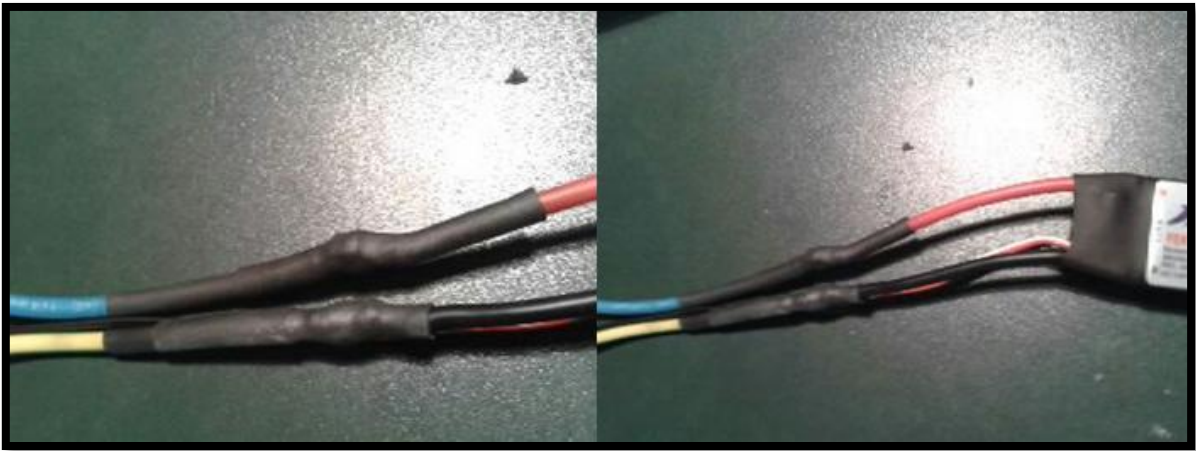


Figura 4.37. Colocación de funda termoretractil.

Y así quedara el variador instalado en su alojamiento.

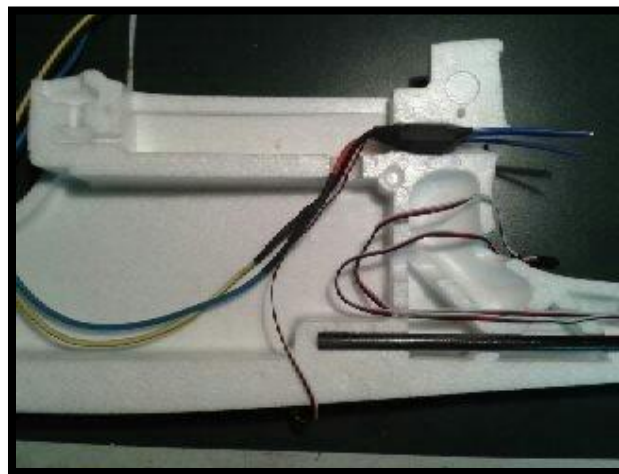


Figura 4.38. Resultado del paso 10.

Figura 4.38. Resultado del paso 10.

A la finalización del paso 10, el conjunto presenta el siguiente aspecto:

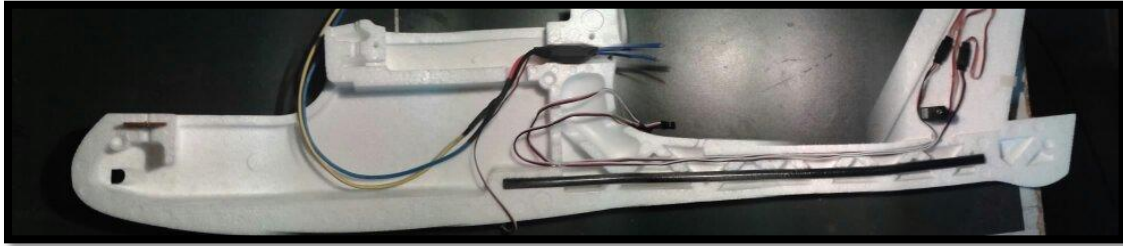


Figura 4.39. Estado del conjunto a la finalización del paso 10.

Paso 11. Unión de las dos partes del fuselaje.

Ahora debemos unir las dos mitades del fuselaje y lo aremos con cianocrilato de densidad media.



Figura 4.40. Unión de las dos partes del fuselaje.

Una vez unidas las dos partes aplicaremos presión sobre estas pegándolas con cinta aislante.

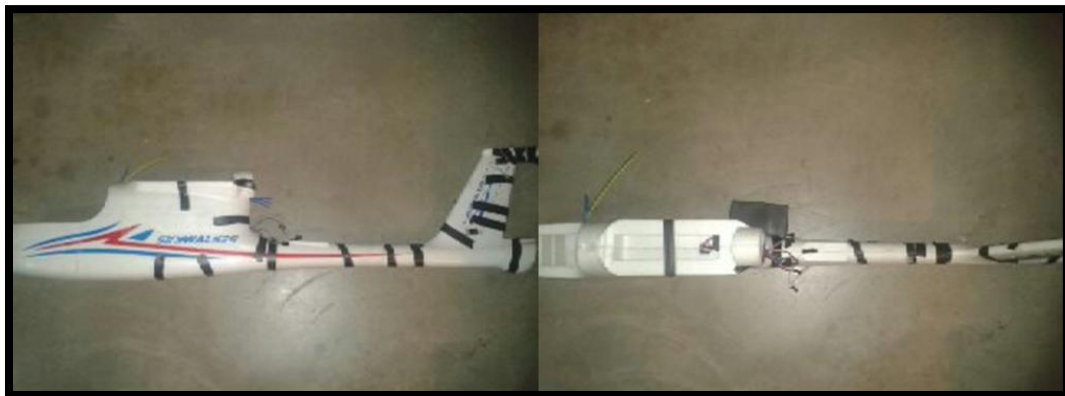


Figura 4.41. Colocación de cinta aislante en la unión del fuselaje.

Una vez seco el pegamento, al cabo de unos minutos, podremos retirar la cinta aislante. Mientras esperamos vamos a realizar el siguiente paso, la apertura de la puerta de la bodega.

Paso 12. Apertura de la puerta de la bodega.

Vamos a crear una puerta para poder tener un fácil y rápido acceso a la bodega del aeromodelo. Procederemos cortando con un cúter la zona marcada para ello en la parte izquierda del fuselaje.



Figura 4.42. Apertura de la puerta de la bodega.

De momento apartaremos la puerta de la bodega, para poder trabajar en ella con más libertad; mas adelante la colocaremos debidamente.

Paso 13. Cable en Y, y alargadores para los servos de los alerones.

En este apartado vamos a fabricar un cable en Y para los alerones, este cable no será más que un cable que partirá del receptor de radio o del ArduPilot, y acabara en los dos servos de los alerones para lo cual al llegar el cable a las alas necesitara dividirse en dos. Con esto conseguiremos ahorrar un canal de la emisora ya que con un solo canal podremos accionar los dos servos de forma muy sencilla, aunque también podría hacerse utilizando dos canales y una mezcla en la emisora.

Partiremos de los siguientes componentes que se ven en la figura, cable enrollado para servo y conectores macho y hembra de tres pines para servo.



Figura 4.43. Cable y conectores para servos.

Mediremos la distancia por exceso desde el alojamiento de la electrónica (receptor de radio y ArduPilot) hasta la base de las alas en su unión con el fuselaje y cortaremos un trozo de cable con las medidas anteriores. Después pelaremos sus tres puntas a ambos extremos.



Figura 4.44. Cable utilizado para fabricación del cable en Y.

Ahora vamos colocar los pines del conector de servo macho que ira al receptor de radio. Debemos respetar los colores del cable, que serán rojo para V+, negro para V- y blanco para la señal.



Figura 4.45. Colocación de los pines del conector macho de servo.

Tras colocarlo lo estañaremos.



Figura 4.46. Estañado del pin del conector de servo.

Tras el estañado, introduciremos los pines en el conector, y colocamos silicona caliente en la base del conector, para evitar su degradación a consecuencia de los tirones en las conexiones - desconexiones.



Figura 4.47. Aplicación de silicona caliente al conector.

De la misma forma se añadirán 2 conectores hembra al otro lado del cable, quedando como resultado el siguiente cable en Y.



Figura 4.48. Cable en Y.

Ahora fabricaremos los alargadores de los servos de los alerones, puesto que al ser desmontables las alas para el transporte, no se ha podido hacer el cable en Y mas largo. Para ello tras tomar la medida necesaria, cortaremos los dos trozos de cable de servo.



Figura 4.49. Mediada del cable necesario.

Soldaremos a un lado los conectores de servo macho y el otro al servo. Para lo primero procederemos como anteriormente con el cable en Y. Y para la otra punta del cable, deberemos primero cortar el conector del cable del servo, para después soldar los cables del alargador a los de este.

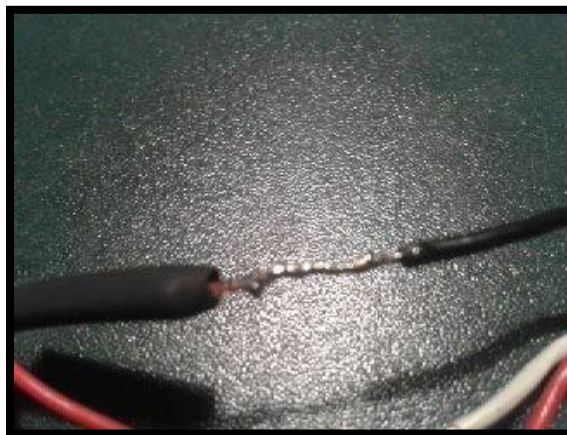


Figura 4.50. Unión de los cables del servo con los del alargador.

Y colocaremos cinta termorretráctil.

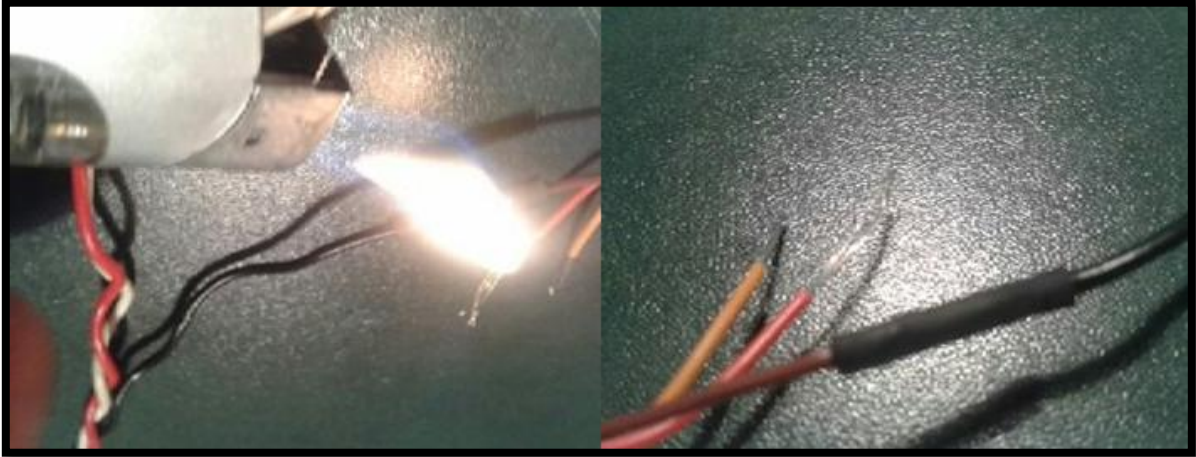


Figura 4.51. Colocación de funda termorretráctil.

Después guiaremos el cable por su hendidura sobre la parte inferior de las alas y pegaremos con silicona caliente.

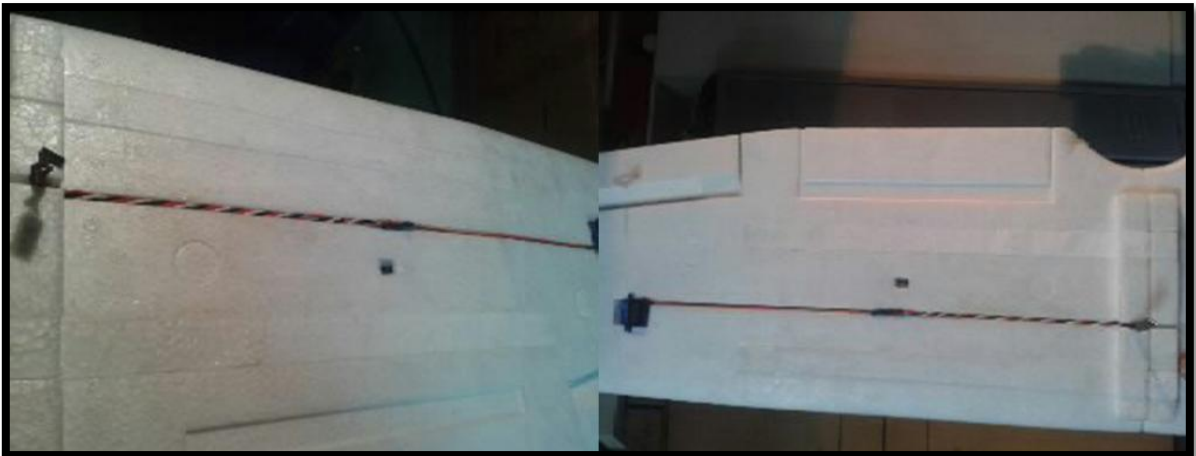


Figura 4.51. Colocación del cable de servo sobre la hendidura de las alas.

Paso 14. Instalación del timón de dirección.

Partiremos de las bisagras anteriormente colocadas en el estabilizador vertical y el timón de dirección.



Figura 4.52. Estabilizador vertical.

Hacemos unos cortes a la altura de las bisagras y comprobamos que encaja correctamente.

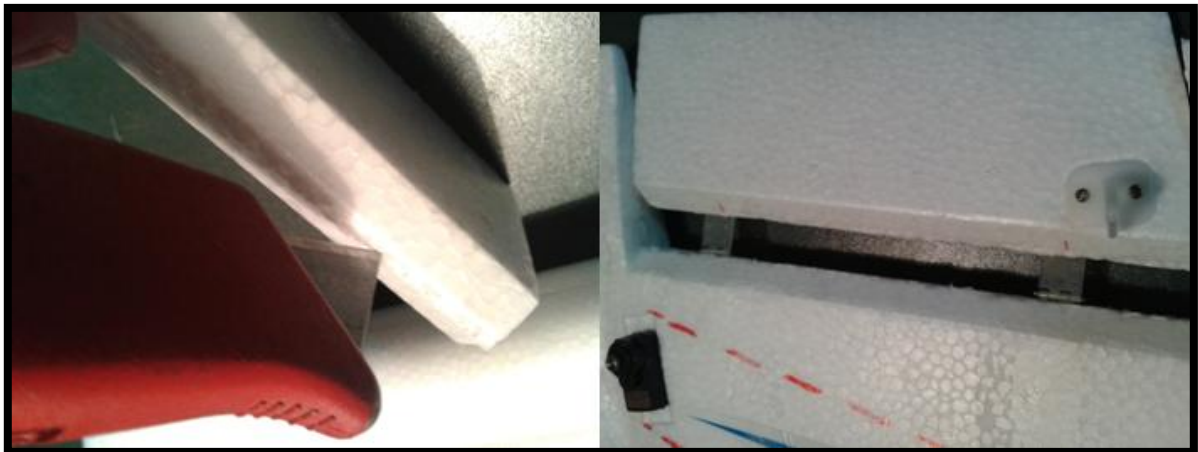


Figura 4.53. Aberturas para las bisagras.

Para fijar el timón de dirección aplicamos cianocrilato en las bisagras y lo colocamos en su posición.



Figura 4.54. Colocación y pegado del timón de dirección.

Paso 15. Instalación de los horms de los servos.

A continuación vamos a colocar los horms de los servos.

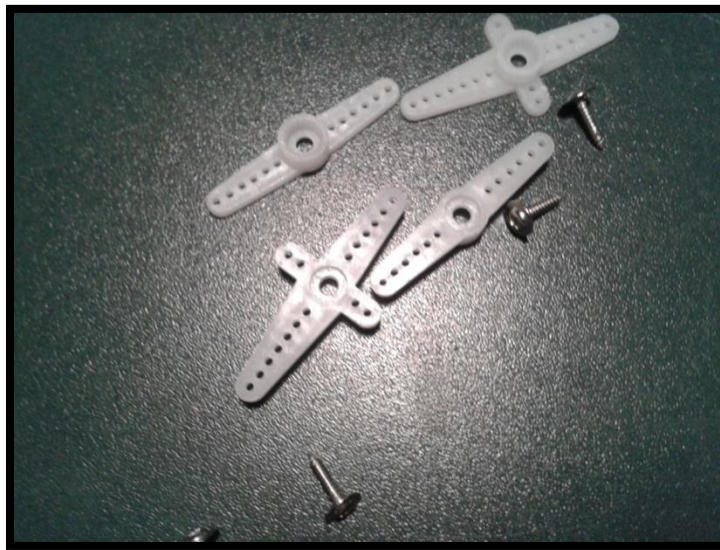


Figura 4.55. Horms.

Para colocarlos no hay más que encajarlos en el eje del servo y poner su tornillo.



Figura 4.56. Instalación de los horms.

Paso 16. Instalación de las varillas de transmisión.

Una vez colocados todos los horms, el siguiente paso será la instalación de las varillas de transmisión.

Empezaremos con el sistema del timón de dirección, para ello comenzaremos agrandando el agujero exterior del horm del servo de dirección, para que entre el prisionero. Usaremos un punzón caliente para este fin.



Figura 4.57. Colocación de prisionero en horm.

Después colocaremos el prisionero y la varilla de transmisión en este quedando como se ve en la figura 4.58 el conjunto.

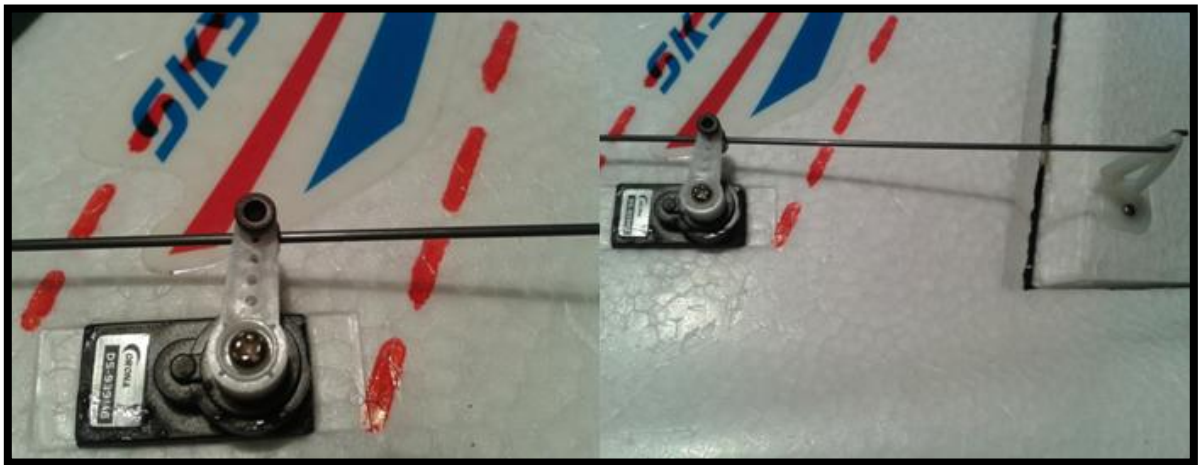


Figura 4.58. Instalación de la varilla de transmisión.

Una vez comprobado que el servo esta en su posición neutra, pondremos el timón de dirección en su posición central también y apretaremos el prisionero.

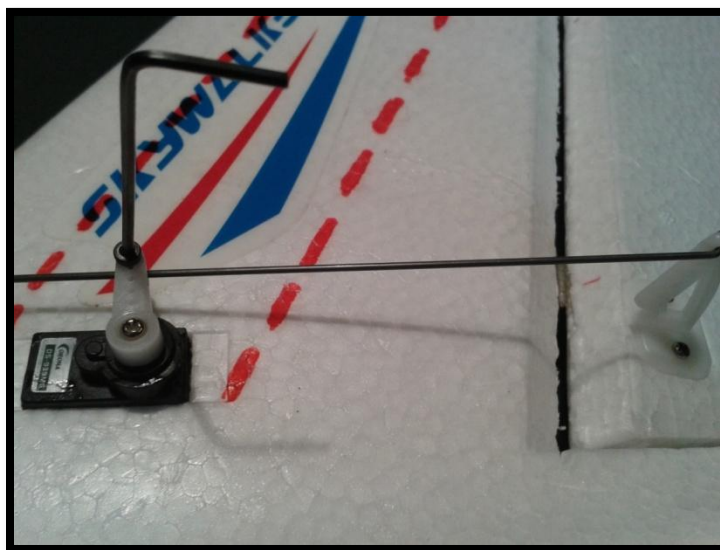


Figura 4.59. Alineación de los puntos neutros del servo con el timón de dirección.

Ahora repetiremos con el timón de profundidad que quedara así:



Figura 4.60. Instalación de la varilla de transmisión del timón de profundidad.

Y también con los alerones:

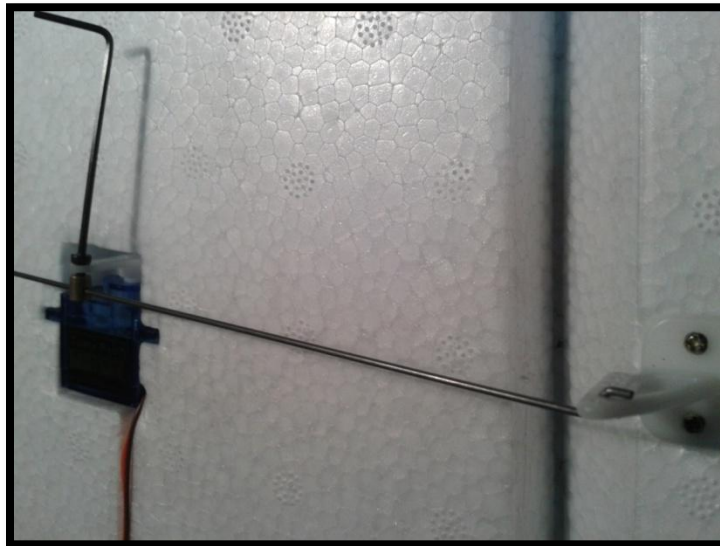


Figura 4.61. Instalación de la varilla de transmisión de los alerones.

Una vez instalada la transmisión de los alerones, los sacaremos de su habitáculo y los pegaremos con cianocrilato.

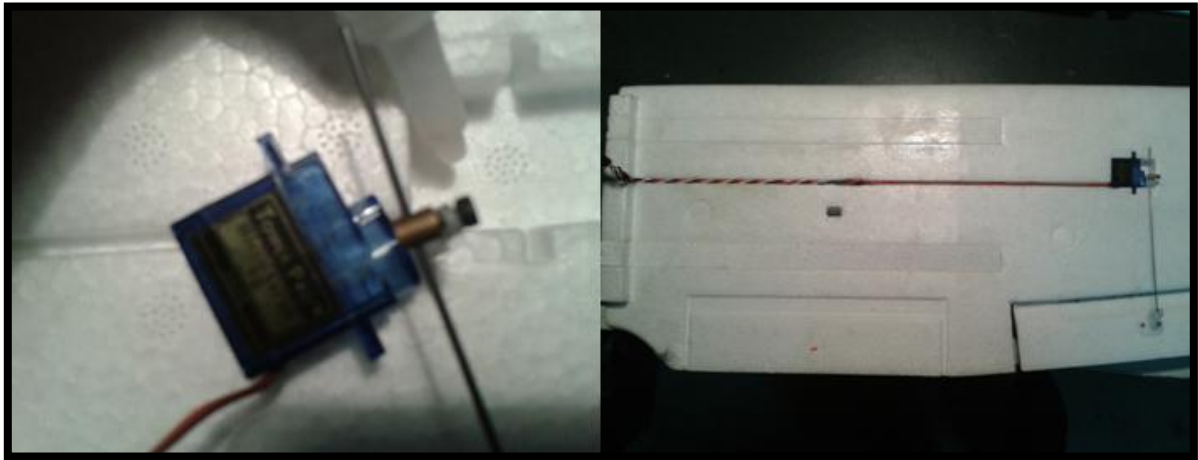


Figura 4.62. Fijación con cianocrilato de los servos de los alerones.

Paso 17. Instalación del motor y cableado motor-ESC-batería.

Vamos a proceder a instalar el conjunto de la figura, el motor AXI 2814/12, junto con su correspondiente set radial de AXI, la base circular de contrachapado donde se atornillara el motor y la bancada motor del fuselaje donde se fijara el conjunto.

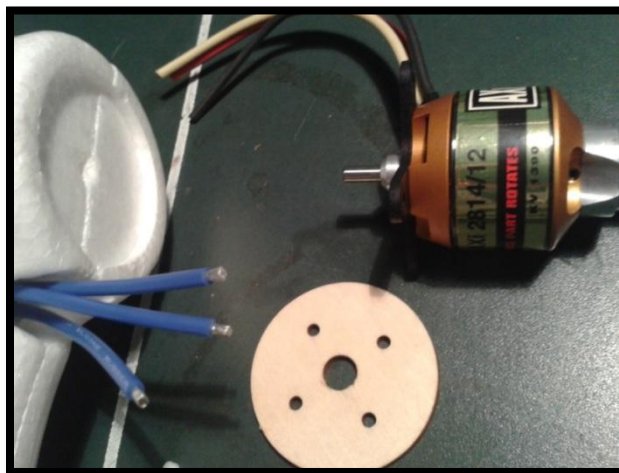


Figura 4.63. Motor AXI 2814/12, set radial AXI, base de contrachapado y bancada motor.

Primero con una broca de 8 mm, haremos un orificio de unos 15 mm de profundidad, que será el espacio que ocupará el eje del motor que sobresale por su parte posterior.



Figura 4.64. Bancada motor.

Igualmente tendremos que agrandar el orificio central del círculo de contrachapado de 3mm que nos servirá para atornillar la bancada del motor.



Figura 4.65. Base de contrachapado.

Comprobamos que el eje del motor pasa con holgura.



Figura 4.66. Comprobación de tolerancias.

Y atornillamos el motor junto con su bancada al contrachapado, con 4 tornillos de madera.



Figura 4.67. Colocación del motor sobre la base de contrachapado.

Es conveniente que los tornillos sobresalgan por detrás como se ve en la figura anterior, ya que así pegara mejor el conjunto en el corcho de la bancada del fuselaje.

Ahora vamos a soldar los conectores banana de 3 mm, en las 3 fases del motor y variador, colocando los conectores macho en el primero y los conectores hembra en el segundo.

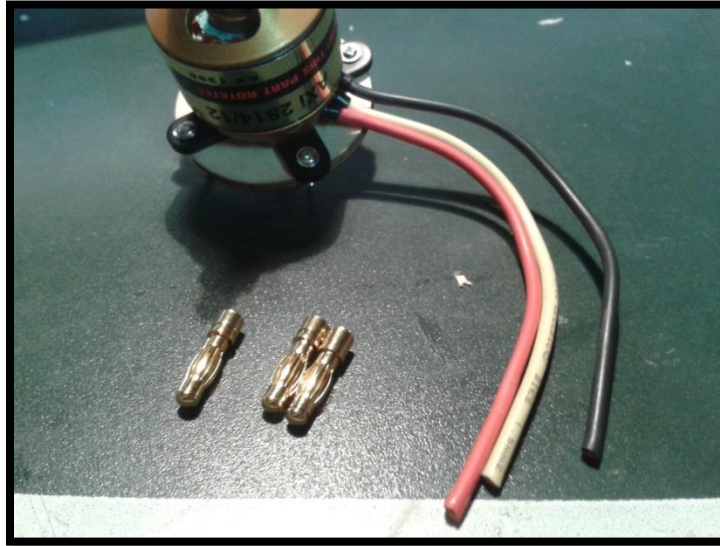


Figura 4.68. Motor y conectores banana de 3mm.

Comenzaremos pelando los cables e introduciendo funda termorretrátil por ellos. Después soldaremos los conectores banana.

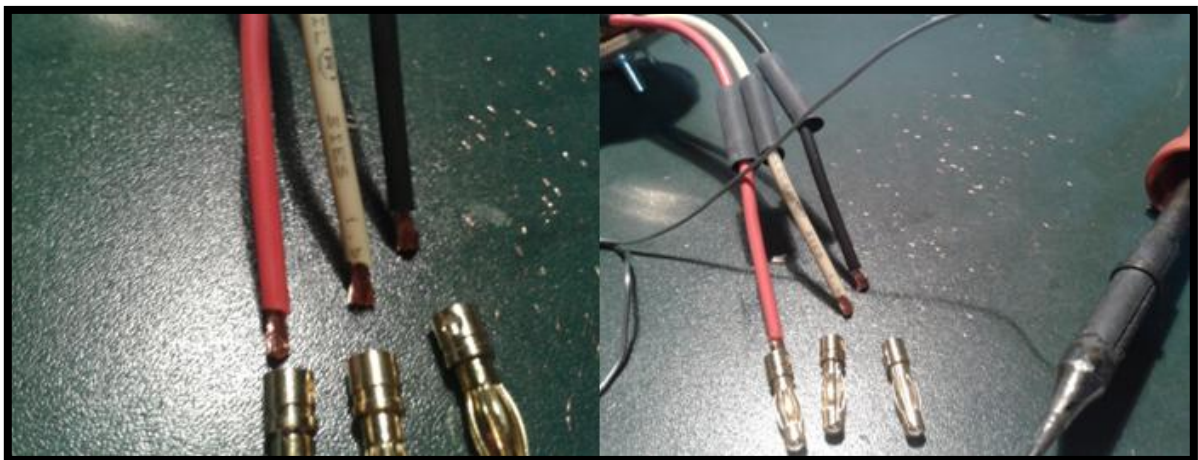


Figura 4.69. Colocación de conectores banana.

Ahora calentamos la funda termorretráctil.

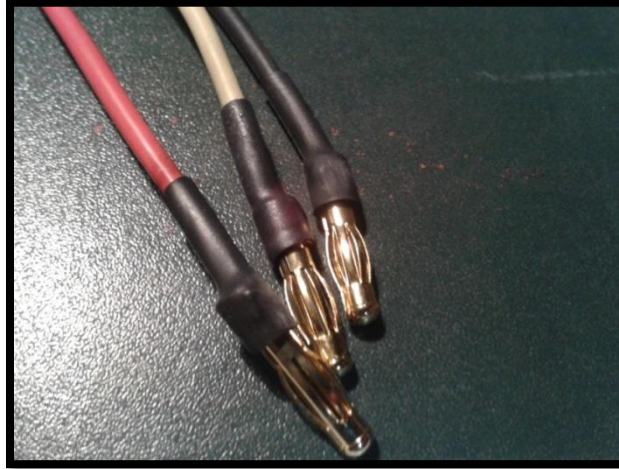


Figura 4.70. Terminales del motor con conectores banana.

Procederemos igual con las 3 bananas hembra del variador.



Figura 4.71. Colocación de los conectores banana del variador.

Tras conectar las bananas, el conjunto queda así.

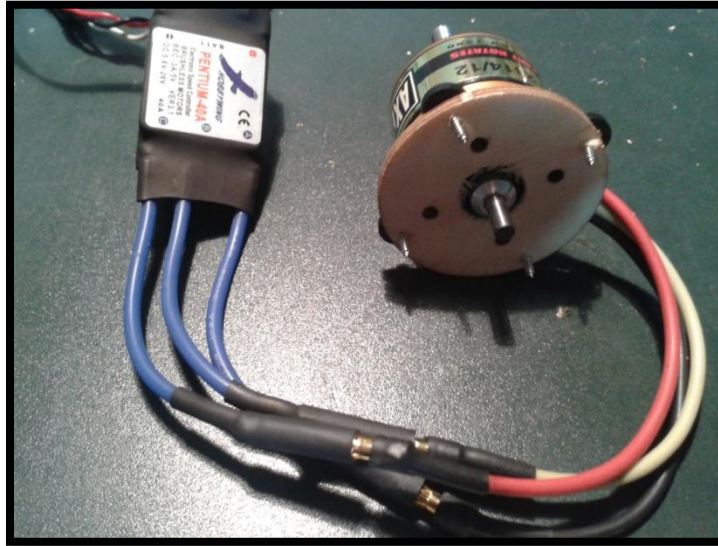


Figura 4.72. Conjunto motor-ESC.

Ahora devolveremos el ESC a su habitáculo y pegaremos el contrachapado junto con el motor en la bancada del fuselaje; para ellos utilizaremos pegamento de 2 componentes de base epoxi.



Figura 4.73. Instalación del motor en la bancada.

Como en la batería tenemos un conector T-Dean, para conectar esta al ESC debemos añadirle uno de estos conectores, por tanto vamos a soldar un conector T-Dean macho entre los terminales + y – del variador, quedando el conjunto como se ve en la figura.

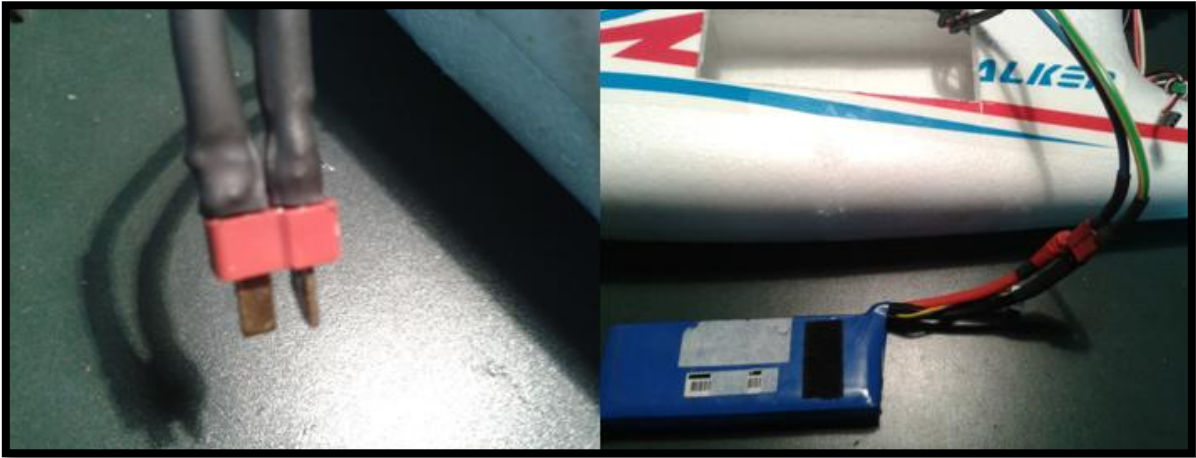


Figura 4.74. Conexión batería-ESC, mediante T-Dean.

Paso 18. Instalación de las varillas para la sujeción de las alas.

Las varillas de fibra de carbono de 100x5mm que vamos a instalar en el fuselaje, servirán de enganche a las gomas de sujeción de las alas.

Para su instalación aplicaremos cianocrilato e introduciremos las varillas por los orificios habilitados para ello.

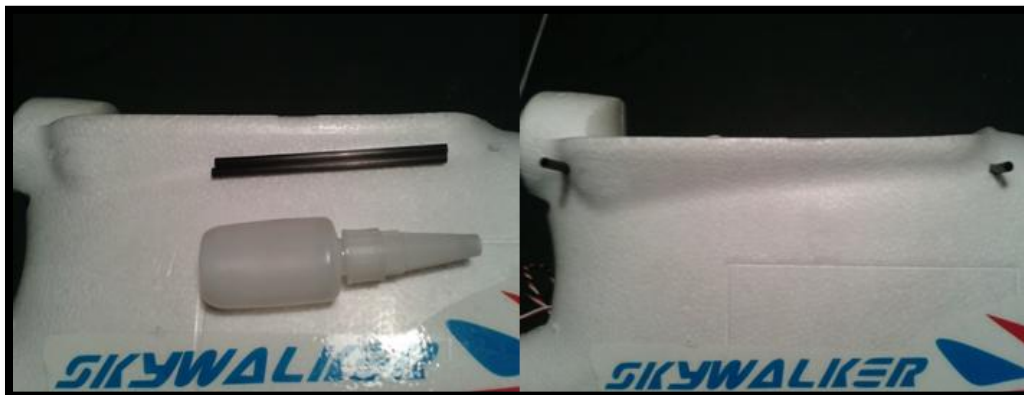


Figura 4.75. Instalación de varillas para sujeción de las alas.

Paso 19. Instalación del estabilizador horizontal.

Con el fin de facilitar el transporte del aeromodelo, el timón de profundidad es desmontable. Este se une al estabilizador vertical mediante dos tornillos que deberemos de poner o quitar, para el montaje-desmontaje y un rectángulo de contrachapado que hará las veces de arandela.



Figura 4.76. Sistema de montaje del estabilizador horizontal.

Paso 20. Montaje de las alas.

Las alas también tienen un sistema de montaje-desmontaje rápido, para facilitar su transporte. Este sistema consiste en la sujeción de las alas mediante cuatro gomas que se entrecruzan sobre las varillas instaladas en el paso 18. Además antes de poner las gomas no debemos olvidar conectar los servos al cable en Y que estará conectado al receptor o al ArduPilot.

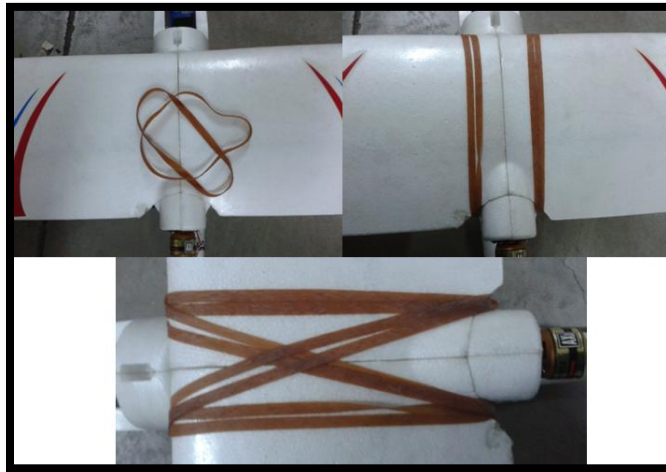


Figura 4.77. Sistema de montaje de las alas.

Paso 21. Montaje de la gabina.

El montaje de la tapa gabina es mas sencillo si cabe que los dos anteriores, ya que solamente deberemos encajarla y colocar un tornillo.



Figura 4.78. Montaje de la tapa de la gabina.

Paso 22. Instalación de la hélice.

Al tratarse de una hélice tipo APC tendremos que buscar un adaptador de ejes de 6mm que es la medida del eje del Portahelices del motor.



Figura 4.79. Motor, Portahelices, hélice y adaptador de hélices.

Ahora debemos introducir la hélice con su adaptador de eje correspondiente, en el eje del portahelices, pero debemos asegurarnos de colocarla en el sentido correcto, las puntas de la hélice deben apuntar en sentido contrario a las agujas del reloj, ya que el motor girara en sentido horario y se trata de un avión de propulsión trasera. Tras colocar la hélice debemos colocar la arandela y la tuerca.



Figura 4.80. Instalación de la hélice.

Paso 23. Instalación y conexión del receptor de radio.

Para poder hacer las primeras pruebas de vuelo, solo nos falta instalar el receptor de radio y conectar los servos a sus respectivos canales que serán los siguientes:

- Canal 1: Alerones.
- Canal 2: Timón de profundidad.
- Canal 3: Gas.
- Canal 4: Timón de dirección.



Figura 4.81. Conexión de los servos al receptor.

Tras la colocación del receptor de radio, deberemos comprobar el correcto funcionamiento de todas las superficies de mando, y deberemos comprobar que el sentido de giro es el correcto, en caso de girar del revés solo tendremos que cambiar dos de las fases del variador-motor.

Aquí finaliza la fase de montaje del aeromodelo, en la figura 4.82. se puede ver el resultado de los 23 pasos realizados.



Figura 4.82. Resultado del montaje.

4.2. Centro de gravedad y peso del aeromodelo.

Centro de gravedad.

El centro de gravedad del aeromodelo es uno de los factores que mas condicionan el vuelo, un centro de gravedad adelantado provocara que avión valla picado, y uno atrasado dará como resultado ascensos muy bruscos, que se traducirán en una perdida de velocidad hasta la entrada en perdida.

Por los motivos anteriores debemos ser muy cuidadosos en la búsqueda del C.G. adecuado, para ello partiremos del C.G. recomendado por el fabricante, este se encuentra entre 7.5cm y 8.5cm del borde de ataque del ala. Pondremos el centro a 8cm para realizar el primer vuelo de prueba sin carga de pago, y a partir de los resultados obtenidos lo mantendremos, lo adelantaremos o lo atrasaremos.

Para hacer que el avión tenga el C.G. anterior lo primero que debemos hacer es montarlo y colocarle la batería, cúpula, y todos los elementos necesarios para su vuelo sin carga de pago. Después trazaremos dos líneas a 7.5cm y 8.5cm del bore de ataque de las alas, una a cada lado y cerca del fuselaje.

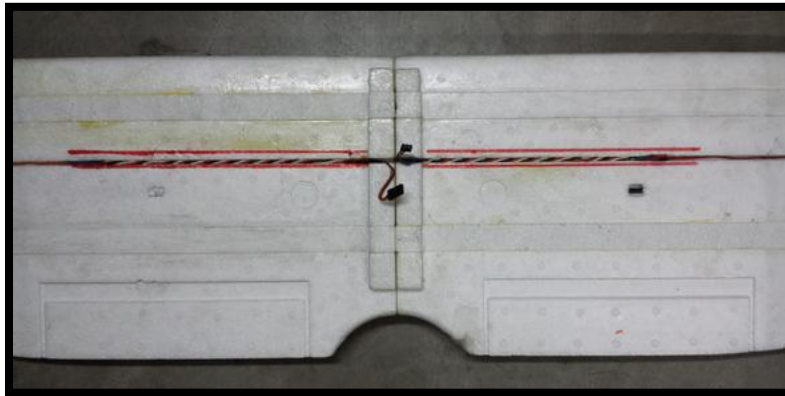


Figura 4.83. Marcado del centro de gravedad.

Una vez realizadas las marcas, montaremos el avión y lo levantaremos sujetándolo con las puntas de los dedos índice puestos entre las dos líneas trazadas anteriormente. Hecho esto se puede ver que el avión pesa mas de cola, por lo que tendremos que añadir el suficiente lastre en el morro del avión para que este quede equilibrado, como se ve en la figura 4.84.



Figura 4.84. Equilibrado del avión entorno al centro de gravedad.

Para conseguir el punto de equilibrio hemos tenido que poner 186gr de lastre en la cabina. Puesto que este lastre es provisional lo hemos colocado con cinta aislante; mas adelante no será necesario colocar lastre, ya que podremos jugar con el peso de componentes como la cámara, batería de la electrónica onboard,...

Peso del aeromodelo.

Una vez equilibrado el avión entorno al centro de gravedad, podremos conocer su peso.

- Peso de las Alas: 390gr.
- Peso del fuselaje (con motor, servos y ESC): 640gr.
- Peso de la batería principal: 408gr.
- Peso del lastre: 186gr.

Tenemos que el avión sin batería y lastre pesara 1030gr y en vuelo sin carga de pago 1624gr.

Una vez instalemos toda la electrónica onboard, el peso se vera incrementado ligeramente y será necesario realizar una nueva pesada.

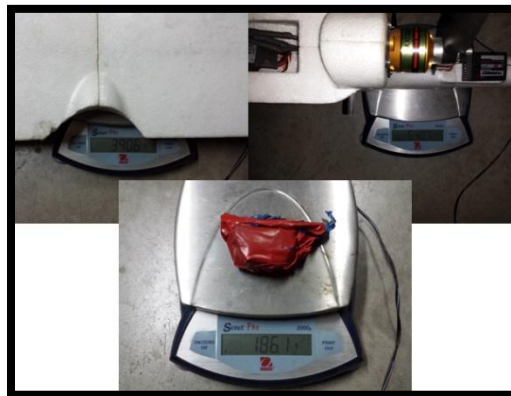


Figura 4.85. Pesos alas, fuselaje y lastre.

4.3. Configuración de la emisora de radiocontrol.

Instalación de la batería.

Antes de iniciar la configuración de la emisora debemos colocarle la batería de polímero de litio reservada para este fin, pero nos encontramos con que los conectores de la batería no encajan con los de la emisora, por lo que sustituimos los de esta por un conector JST hembra. Además para poder extraer con facilidad la batería le colocamos unas vueltas de cinta aislante, dejando un trozo sobresaliendo del que podremos tirar para extraerla. Dado que la batería entra muy justa en el alojamiento de la emisora se puede ver en la siguiente figura que hemos tenido que colocar el conector JST hembra en el exterior del alojamiento, haciendo un orificio para ello.



Figura 4.76. Colocación batería emisora.

Sincronización Emisora-Receptor.

Esta es una operación que solo se debe hacer la primera vez que se usa un receptor con la emisora, de modo que el receptor reconoce la ID de la emisora y la guarda, para que solo se sincronice con nuestra emisora y no lo haga nunca con otras emisoras, de no ser por esta característica podríamos tener muchos problemas ya que el receptor se podría enlazar a otras emisoras de radio en el campo de vuelo, pasando estas a controlar nuestro aeromodelo involuntariamente.

Antes de nada nos aseguraremos de que todos los interruptores de la emisora estén a cero, ya que si no al encender la emisora nos mostrara el siguiente fallo "swich error", acompañado de un pitido.

Para llevar a cabo el proceso de sincronización o bind debemos realizar los cuatro pasos siguientes:

1. Comenzaremos en proceso de sincronización o enlace, encendiendo la emisora. Además debemos puentear los pines BIND del receptor.



Figura 4.77. Puentado del receptor.

2. Pulsamos el botón de bind que hay en el modulo de emisión de la emisora durante unos segundos.



Figura 4.78. Botón de bind de la emisora.

3. Ahora alimentamos el receptor, y ya lo tenemos sincronizado.
4. Después de sincronizar debemos quitar la alimentación del receptor, después el puente de bind y finalmente apagamos la emisora.

Memorización y configuración del modelo.

La emisora tiene memoria para almacenar los datos y las configuraciones de 8 modelos, en una de esas memorias vamos a crear el modelo “SkyWalker” y vamos a configurar algunos parámetros básicos, aunque mas adelante será necesario realizar funciones mas complicadas, sobre todo para el manejo del Ardupilot Mega.

1. Encendemos la emisora y mantenemos pulsado el botón “Menú”, aparecerá una ventana, en ella con las teclas de la izquierda seleccionamos “system setting” y pulsamos la tecla “Menú” nuevamente. Aparecerán varias opciones, seleccionamos la primera, “Mode Sele” y seleccionamos el hueco donde queremos guardar la información de nuestro modelo, con la precaución de no elegir un hueco ocupado, ya que perderíamos la información del modelo existente. Para salir y guardar los cambios pulsaremos siempre la tecla “Menú”, ya que si pulsamos la tecla “Exit” saldremos sin guardar.



Figura 4.79. Programación Turnigy 9x, parte 1.

2. Ahora en system setting seleccionamos la segunda opción, “Mode Name” y escribimos el nombre del aeromodelo. Una vez escrito el nombre pulsaremos nuevamente “Menu”, para guardar los cambios.



Figura 4.80. Programación Turnigy 9x, parte 2.

3. En la tercera opción, elegiremos el tipo de aeronave, HELICOPTERO, ACROBATICO O GLIDER, nosotros elegiremos glider. Dependiendo del modelo elegido luego podremos realizar unas mezclas u otras.

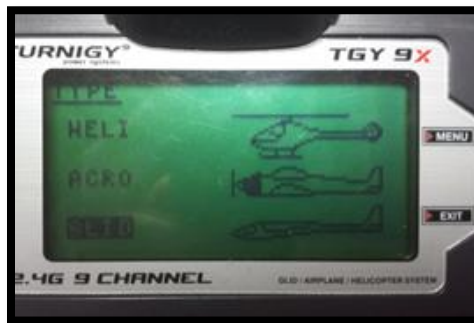


Figura 4.81. Programación Turnigy 9x, parte 3.

4. La cuarta opción, "Modevat", sirve para elegir el tipo de modulación, nosotros elegiremos "PPM".

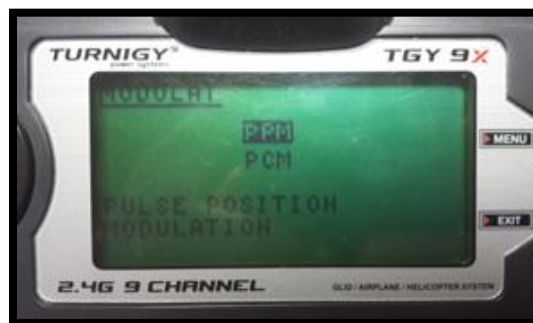


Figura 4.82. Programación Turnigy 9x, parte 4.

5. En la penúltima opción elegiremos el modo de vuelo, o lo que es lo mismo la correspondencia entre los 4 primeros canales y los dos joystick, en Europa se suele volar en modo 2 y puesto que es también el modo en el que mas cómodo piloto, elegiremos este.

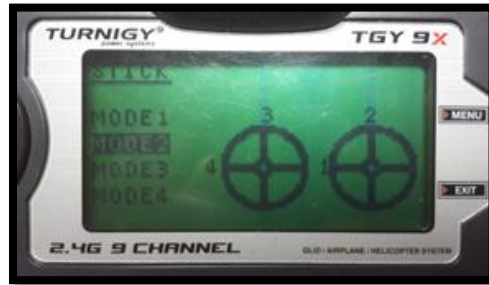


Figura 4.83. Programación Turnigy 9x, parte 5.

6. La última opción, "Copy", sirve para copia modelos de un hueco de memoria a otro, simplemente para ordenarlos o para modificar los parámetros sin perder los originales.



Figura 4.84. Programación Turnigy 9x, parte 6.

7. Por otro lado si volvemos atrás, en el menú principal tenemos otro submenú, el "Func Setting", en este podemos crear funciones que mezclen canales, añadir funciones exponenciales a los canales,... pero esto es algo que veremos más adelante.



Figura 4.85. Programación Turnigy 9x, parte 7.

4.4. Test de consumo.

En este apartado vamos a determinar con la ayuda de un vatímetro el consumo del motor con las distintas hélices. El objetivo principal es comprobar que no se superan los consumos máximos recomendados por el fabricante del motor, minimizando así el riesgo de avería. Recuperamos algunas especificaciones técnicas del motor AXI 2814/12:

- **Número de elementos:** 2-3 LiPo.
- **RPM/V:** 1390.
- **Eficiencia Máxima:** 81 %.
- **Corriente máxima eficiencia:** 15-25 A (> 75 %).
- **Corriente Máxima:** 35 A/60 s.
- **Resistencia interna:** 37 mΩ.
- **Numero de polos:** 14.
- **ESC recomendado:** 40A.
- **Hélice recomendada:** 9.5x5, 9x6, 10x4.7, 10x5 y 10x6.

Vamos a realizar los test con hélices 8x5, 8x6, 9x6 y 10x5.

Test 1: hélice 8x5.

% Stick Gas	Consumo (A)
25%	0.6
50%	8.1
75%	20.9
100%	27.6

Test 2: hélice 8x6.

% Stick Gas	Consumo (A)
25%	0.7
50%	9
75%	21.7
100%	29.7

Test 3: hélice 9x6.

% Stick Gas	Consumo (A)
25%	2.6
50%	12.1
75%	26.6
100%	34.3

En vista de los resultados con la hélice de 9x6 y que para usar la de 10x5 hay que realizar algunas modificaciones en el fuselaje, vamos a omitir el último test.

Vemos en los test que las hélices de 8x5 y 8x6 se pueden utilizar con seguridad, pero en el test 3 vemos que la hélice de 9x6 esta en los limites de consumo o incluso podría a llegar a sobrepasarlos si se mantuviera el gas al 100% mas de 60s, en cualquiera de los casos estaríamos llevando el sistema al limite, por lo que a no ser que en futuras pruebas necesitemos mas potencia, omitiremos las hélices de 9x6 y 10x5.



Figura 4.86. Test de consumo.

4.5. Primeras pruebas de vuelo.

Anteriormente hemos comprobado el consumo del motor para las distintas hélices y también se ha equilibrado el aeromodelo para un centro de gravedad determinado, ahora nos queda hacer la primera prueba de vuelo en vacío para asegurarnos de que todo marcha bien y no nos hemos equivocado en la configuración del equipo. Estas pruebas se realizarán en el campo de vuelo del Aeroclub Molinense, situado en Blanca (Murcia); este campo de vuelo dispone de una pista de tierra compactada de 20 metros de ancho por 200 metros de largo, por lo que nos es una pista muy grande, pero suficiente para hacer las pruebas de vuelo.



Figura 4.87. Aeroclub Molinense.

Por último antes de comenzar con las pruebas debemos probar el enlace de radio en tierra, para ello nos alejaremos con la emisora unos 100m, y comprobaremos con la ayuda de una segunda persona que todos los canales responden bien.

Vuelo nº1.

- Fecha: 29/06/2013.
- Hora: 10:00.
- Velocidad viento: 5 Km/h.
- Duración vuelo: 9'.
- Voltaje batería al aterrizar: 11.94V, celda1: 3.96, celda2: 3.99, celda3: 3.99.
- Consumo: 1020mAh.

Vuelo nº2.

- Fecha: 29/06/2013.
- Hora: 11:00h.
- Velocidad viento: 10 Km/h.
- Duración vuelo: 12'.
- Voltaje batería al aterrizar: 11.82V, celda 1: 3.94, celda 2: 3.94, celda 3: 3.94.
- Consumo: 1260mAh.



Figura 4.88. 1º Vuelo SkyWalker.

Tal y como se ve en los resultados de los dos vuelos, con la batería de 5000mAh, se pueden superar fácilmente los 30' de vuelo.

Tras un trimado inicial en el primer vuelo, el avión se comportó bien en los dos vuelos y ambos transcurrieron sin incidencias; el aeromodelo tenía potencia mas que suficiente para ascender, y a, comprobar la temperatura del motor y la batería al aterrizar, ambos estaban fríos.

Conclusiones.

El vuelo ha sido un éxito, como único inconveniente, se ha notado una ligera erosión en la panza del fuselaje debido a los aterrizajes, para ello en su momento la reforcemos con cinta americana, y aunque ya nombremos los inconvenientes de un tren de aterrizaje, sería interesante probar esta posibilidad.



Figura 4.89. Lanzamiento manual Skywalker.

4.6. Tren de aterrizaje: Construcción, instalación y pruebas.

En este apartado vamos a construir, instalar y probar un tren de aterrizaje desmontable en el Skywalker, con el fin de conocer que opción es mejor, aterrizaje sobre tren de aterrizaje o sobre la panza del fuselaje.

4.6.1. Construcción e instalación.

Partiremos de una pletina de aluminio de 3mm de grosor y 30mm de ancho. De ella cortaremos un trozo de 450mm y marchamos dos líneas a 35mm del centro, una a cada lado, y dos más a 20mm de cada uno de los extremos del trozo de pletina de 450mm.

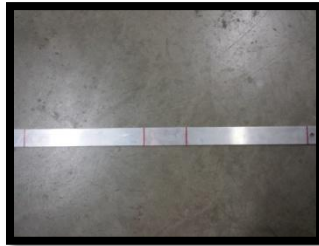


Figura 4.90. Marcado para posterior corte de la pletina de aluminio.

Después doblaremos la pletina a 40°, por las dos líneas centrales marcadas anteriormente, tal y como se muestra en la siguiente figura.



Figura 4.91. Plegado de la pletina a 40°.

Después doblaremos también por las marcas de los extremos de la pletina, esta vez deben quedar perpendiculares al centro de la pieza.



Figura 4.92. Plegado del tren de aterrizaje.

Ahora limaremos los bordes como en la siguiente figura.



Figura 4.93. Limado de los bordes.

Con una broca de 5mm haremos un agujero en el centro de las dos ruedas y a un cm de los extremos del tren de aterrizaje.

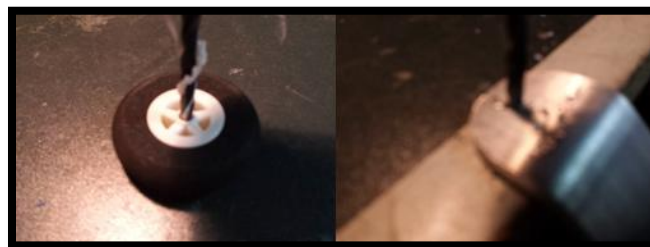


Figura 4.94. Taladrado de rueda y tren de aterrizaje.

Hecho esto, ahora debemos colocar las ruedas con dos tornillos de 4mm, 4 arandelas y una tuerca autoblocante. Debemos apretar la tuerca lo máximo posible, pero dejando que la rueda gire libremente.



Figura 4.95. Colocación de las ruedas.

Para la colocación del tren en el fuselaje cortaremos un trozo de contrachapado de la misma medida de la parte central del tren y posteriormente hacer dos agujeros de 5mm, tanto en los extremos del contrachapado como en los de la parte central del tren.

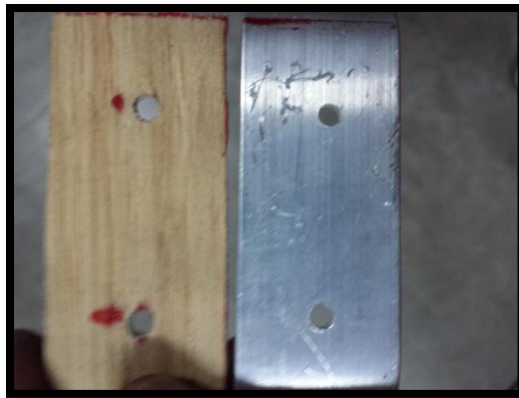


Figura 4.96. Agujero de 5mm en rectángulo de contrachapado y tren de aterrizaje.

Ya estamos en disposición de colocar el tren de aterrizaje, que instalaremos con dos tornillos de 4mm, con tuerca autoblocante y intencionadamente sin arandelas en la parte del contrachapado, para que en caso de accidente el tren se despegue del fuselaje sin dañarlo.



Figura 4.97. Colocación del tren de aterrizaje.

Ya solo nos queda la rueda trasera del tren, para colocarla empezaremos cortando un triángulo de 2.5x6.7x7.3, al que después limaremos los cantos tal y como se ve en la siguiente figura.

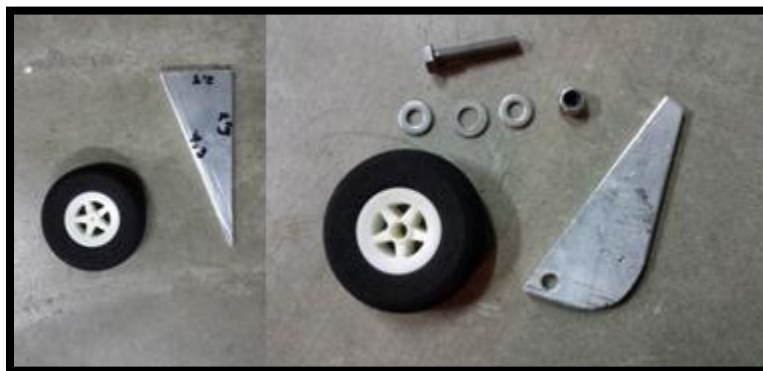


Figura 4.98. Soporte rueda trasera.

También haremos un agujero de 5mm en la rueda y otro en el aluminio, como se ve en la figura anterior, y con un tornillo de 4mm, tres arandelas y una tuerca autoblocante colocaremos la rueda.

Posteriormente, con un cúter haremos una hendidura en la parte trasera del fuselaje y con pegamento epoxi colocaremos la rueda trasera del tren.



Figura 4.99. Colocación de la rueda trasera del tren de aterrizaje.

4.6.2. Pruebas de vuelo con tren de aterrizaje.

Mediante las siguientes pruebas conoceremos y confirmaremos los pros y contras de usar tren de aterrizaje. Para ello se han hecho dos nuevos vuelos en el Aeroclub Molinense.

Antes del vuelo se vuelve a comprobar el centro de gravedad, pues hemos añadido 130gr en la parte delantera y 20gr en la trasera.



Figura 4.100. Comprobación de superficies móviles antes del despegue.

Vuelo nº3.

- Fecha: 1/07/2013.
- Hora: 13:00.

- Velocidad viento: 1 5 Km/h.
- Duración vuelo: 14´.
- Voltaje batería al aterrizar: 11.76V, celda1: 3.92, celda2: 3.92, celda3: 3.92.
- Consumo: 1801mAh.

Vuelo nº4.

- Fecha: 1/07/2013.
- Hora: 12:30h.
- Velocidad viento: 17 Km/h.
- Duración vuelo: 16´.
- Voltaje batería al aterrizar: 11.79V, celda 1: 3.93, celda 2: 3.93, celda 3: 3.93.
- Consumo: 1800mAh.

Los dos vuelos transcurren sin contratiempos graves, excepto en el aterrizaje del segundo vuelo que el avión se sale de pista debido al viento cruzado y aunque va nivelado da una voltereta debido a que se engancha en el tren de aterrizaje, además este se desengancha del fuselaje. Pero por suerte el incidente no ha ido a más y solo se han producido algunos roces en el corcho.



Figura 4.101. Momento de la salida de pista.

Conclusiones.

Puesto que este es un aeromodelo que debe ser capaz de volar en diversos medios, y que como hemos comprobado el tren de aterrizaje puede producir mas problemas que soluciones, vamos a prescindir de el.

CAPITULO 5. Montaje del sistema de video y pruebas de vuelo FPV.

En este capitulo vamos a montar el sistema de video inalámbrico, de modo que al final de este estaremos en disposición de realizar las primeras pruebas con este sistema instalado y volar en primera persona.

5.1. Instalación del sistema de video.

Partiendo de la GoPro, su pan and till, dos servos, el equipo de transmisión de video, las videogafas y la batería para la electrónica, vamos a explicar paso a paso el proceso de instalación del sistema.

5.1.1. Montaje del pan and till.

Vamos a empezar montando el pan and till de la GoPro, que nos permitirá mover la cámara en sus ejes vertical y horizontal. Para ello partiremos del propio soporte y dos servos.

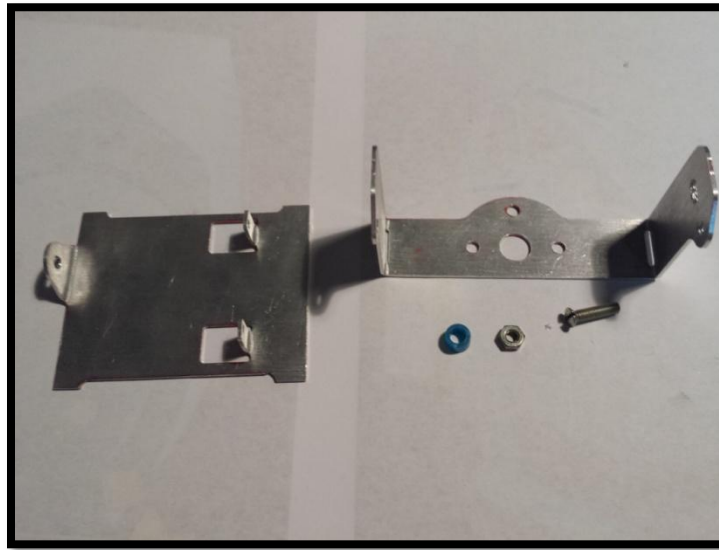


Figura 5.1. Pan and Till para GoPro.

Primero vamos a montar el servo del movimiento vertical en su alojamiento, para ello utilizaremos los dos tornillos que vienen con el servo, y posteriormente le daremos unas vueltas de cinta adhesiva.

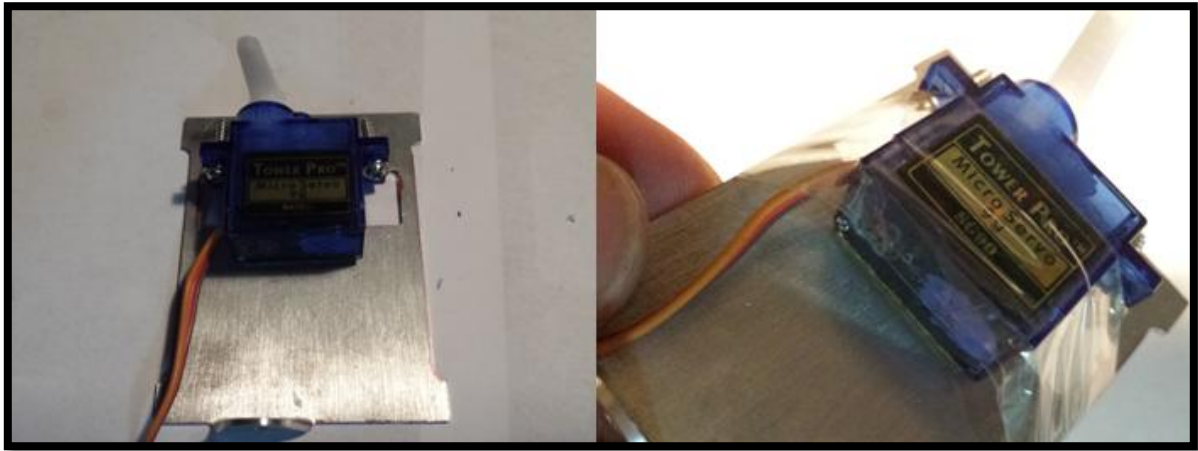


Figura 5.2. Montaje del servo del movimiento vertical.

Ahora uniremos las dos piezas del soporte; comenzaremos por el tornillo de la siguiente figura, al que añadiremos antes de poner la tuerca fijador de tornillos, ya que la tuerca no es autoblocante y es muy difícil encontrarlas en métricas tan pequeñas.

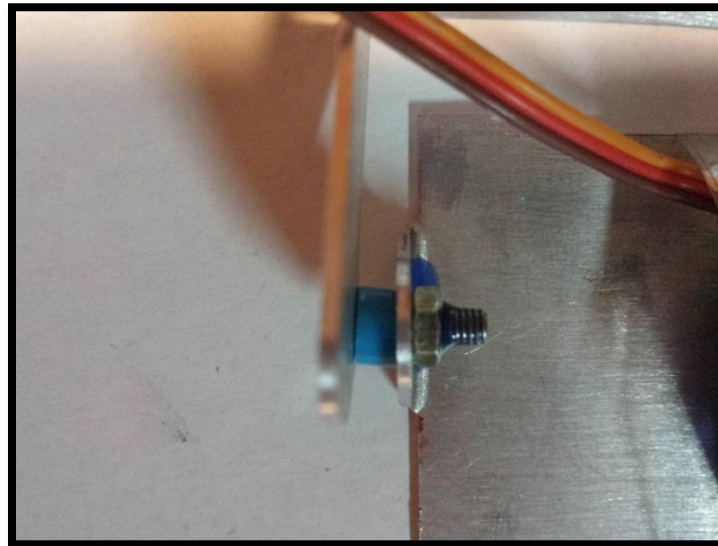


Figura 5.3. Colocación de tuerca con fijador de tornillos.

En el otro extremo del soporte debemos fijar el brazo móvil del servo y los haremos con dos tornillos rosca chapa.

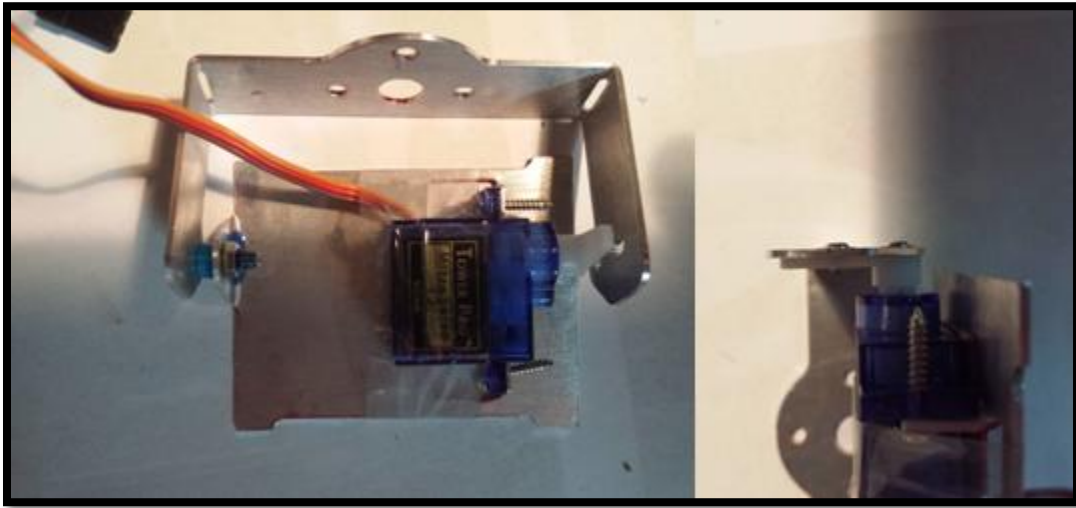


Figura 5.4. Unión del soporte al brazo del servo.

De momento el soporte queda así:

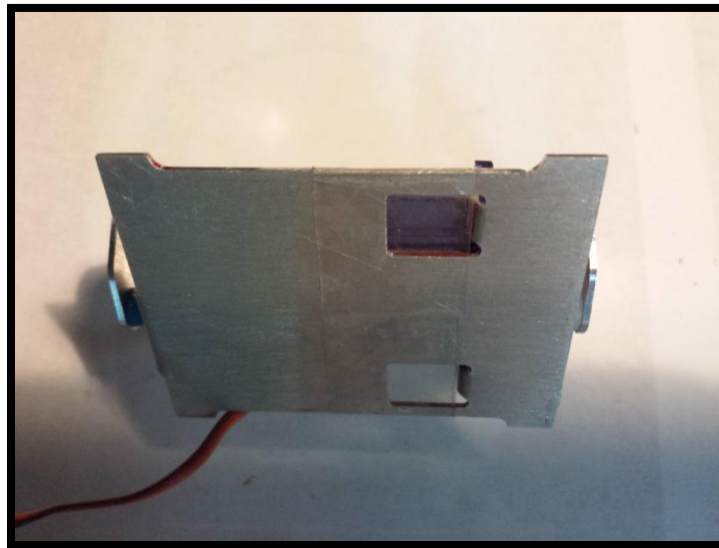


Figura 5.5. Montaje de soporte para GoPro.

Ahora colocaremos el plato de transmisión del servo encargado del movimiento horizontal. Lo colocaremos en su orificio y lo fijaremos con pegamento epoxi.



Figura 5.6. Colocación del plato de transmisión del servo del movimiento horizontal.

A falta de colocar el pan and till en el avión, quedaría así:

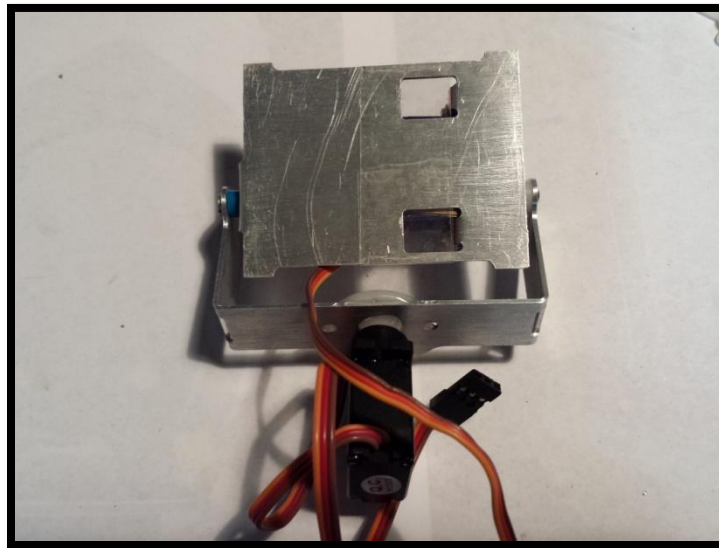


Figura 5.7. Pan and till para GoPro.

Nos quedaría adaptar el agujero del fuselaje habilitado para el pan and till, para que quepa el servo y puedan pasar libremente los dos cables de los servos. Una vez ensanchado el hueco, con pegamento epoxi, colocaremos el servo del movimiento horizontal y pasaremos los cables asegurándonos de que no queden pegados.

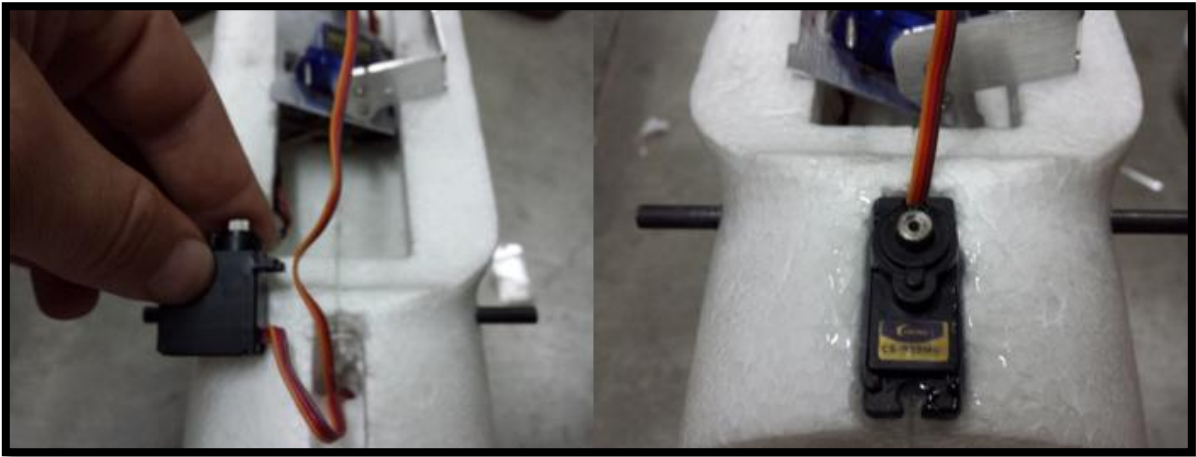


Figura 5.8. Colocación del servo en el fuselaje.

Nos quedaría ahora colocar el soporte sobre el servo y fijarlo con su correspondiente tornillo.



Figura 5.9. Colocación del soporte sobre el servo.

Para colocar la cámara al pan and till, pegaremos en ambos velcro, de forma que será muy cómodo quitar y poner la GoPro en su soporte.



Figura 5.10. Colocación de la cámara en el pan and till.

Por ultimo solo nos faltaría conectar los servos a los canales 5 y 6 del receptor, y habilitar en la emisora dos potenciómetro para el movimiento a través de los canales anteriores del pan and till.

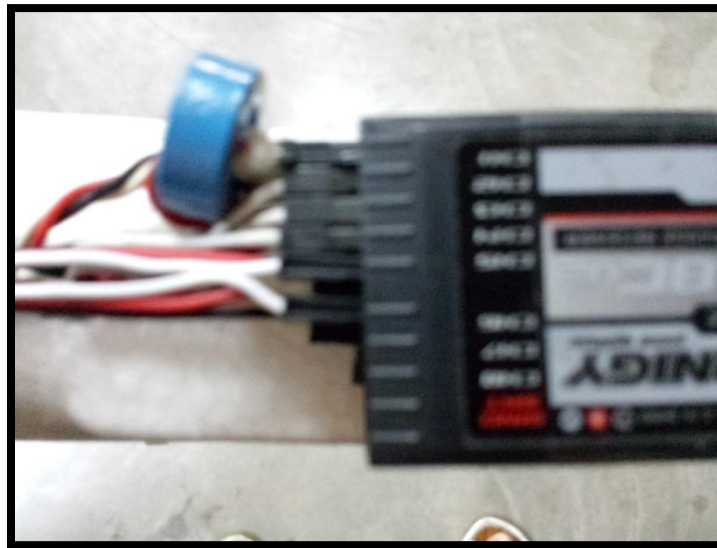


Figura 5.11. Conexión de los servos a los canales 5 y 6 del receptor.

5.1.2. Montaje del transmisor de video.

Comenzaremos pegando un rectángulo de velcro en el transmisor de video y en la parte frontal de la gabina del avión. De esta forma podremos poner y quitar el transmisor cómodamente.



Figura 5.12. Colocación del transmisor de video.

Para poder conectar fácilmente el transmisor de video a la cámara y a la batería, vamos a hacer una pequeña y sencilla placa de conexionado rápido.

Para este propósito comenzaremos cortando el conector del transmisor de video y pelando las puntas de sus cables, que soldaremos de forma ordenada a un trozo de baquelita perforada.

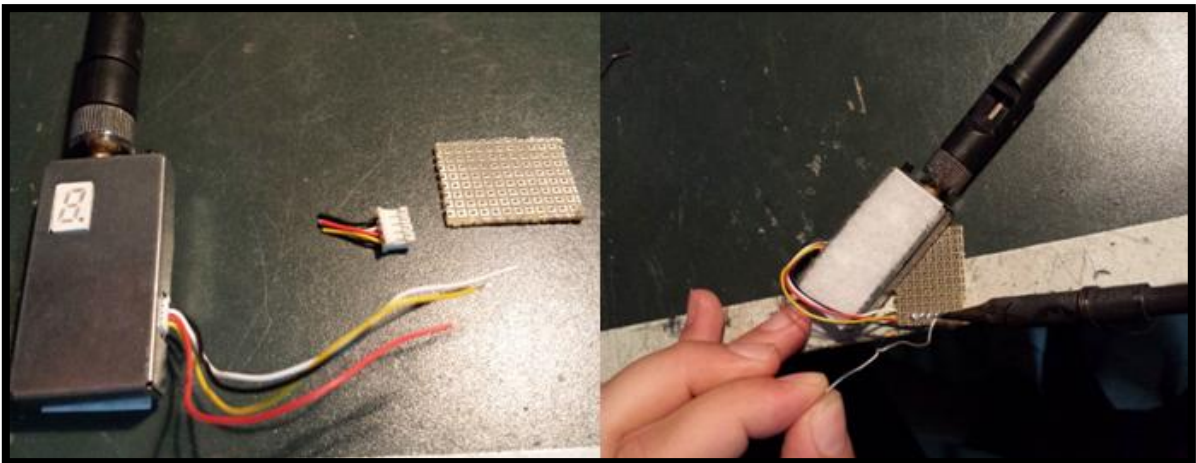


Figura 5.13. Soldadura de los cables del transmisor de video a la baquelita perforada.

Ahora soldaremos a los pines V+ y masa de la placa un conector JST, con sus respectivos cables.

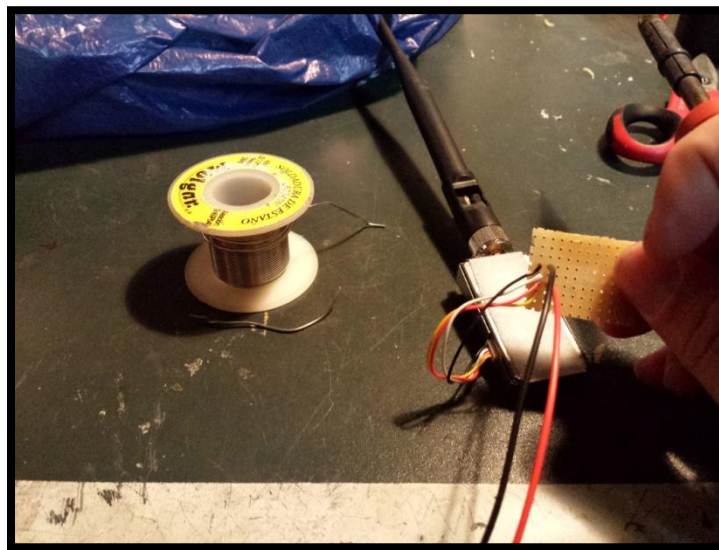


Figura 5.14. Soldadura a la placa del conector JST.

Para conectar la cámara necesitaremos soldar tres pines tipo jumper, por orden para masa, audio y video, por eso deberemos hacer coincidir estos pines con la masa, audio y video del transmisor de video. Tras la soldadura la placa de conexiones estará terminada, por lo que aplicaremos silicona caliente en los contactos para evitar cortocircuitos y que los cables se rompan como consecuencia de los tirones.

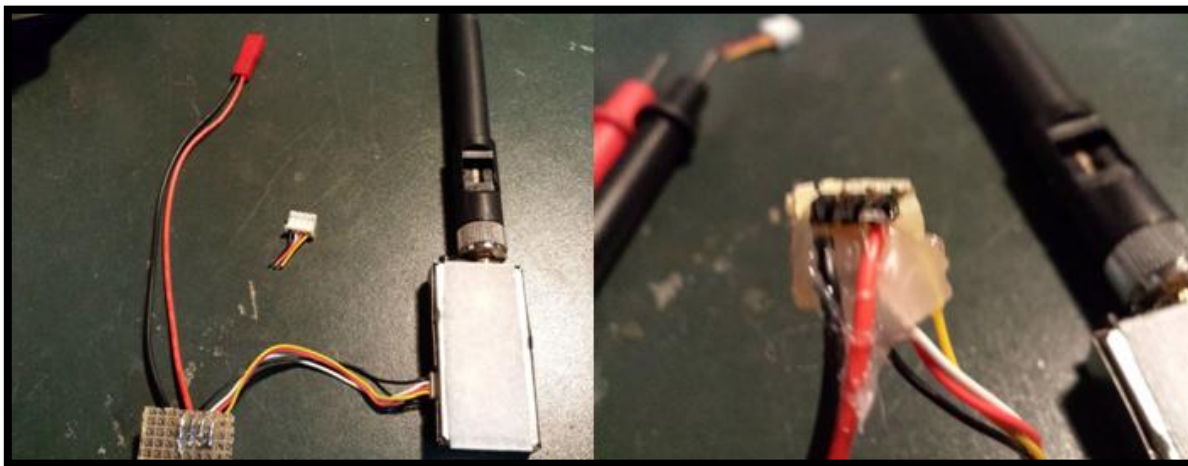


Figura 5.15. Placa de conexionado rápido.

5.1.3. Cable de conexión cámara-transmisor de video y últimas operaciones.

Uno de los accesorios que incluye la GoPro, es el cable para conectar su salida live a cualquier dispositivo de video mediante conectores RCA. Pero nos encontramos con que ni nuestro transmisor lleva conectores RCA, ni tampoco podemos permitirnos montar un cable de un metro en el avión, por lo que vamos a optar por fabricar un cable a medida. Este cable tendrá en una punta un conector mini jack de 4 polos y en la otra un conector de servo.



Figura 5.16. Cable para salida live de la cámara GoPro.

Como los mini jack de 4 polos no son muy comunes y por tanto son difíciles de encontrar, vamos a aprovechar el del cable de la GoPro, que tras cortarlo y pelarlo queda como en la siguiente figura:

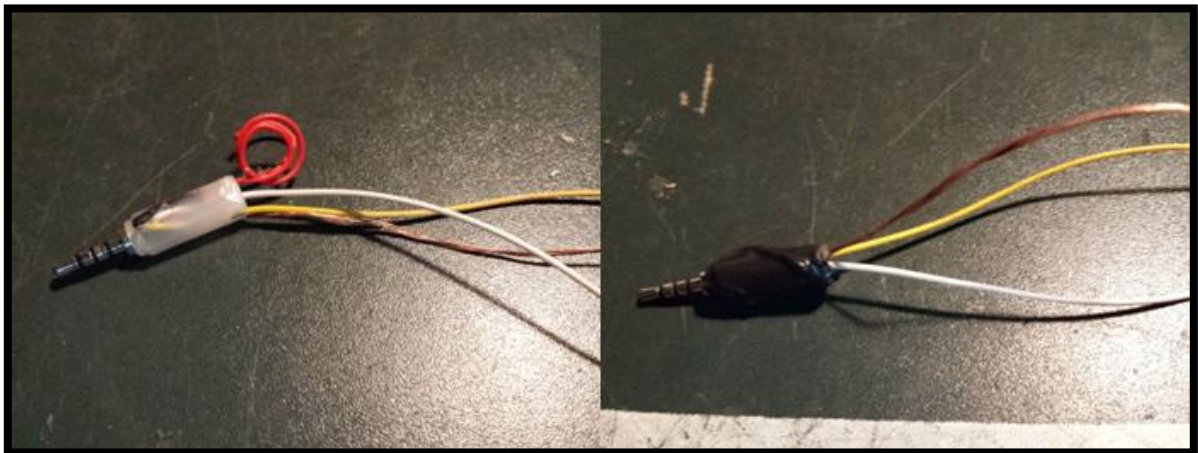


Figura 5.17. Mini Jack de 4 polos.

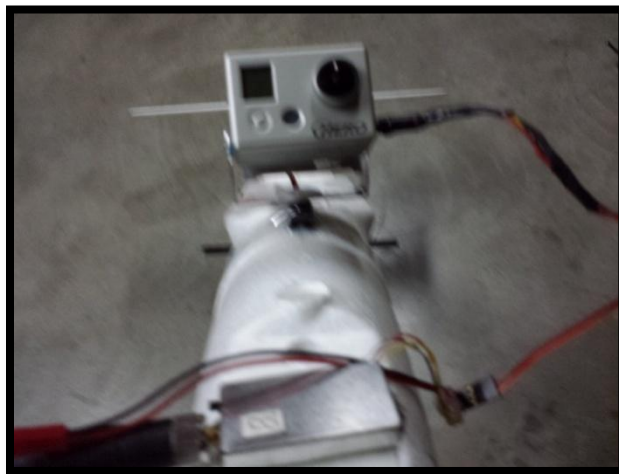
Después anularemos el cable rojo del Jack y lo encintaremos como se ve en la figura anterior, ya que el cable rojo y el blanco corresponden a la salida de audio estéreo, pero como solo disponemos de un canal para la transmisión de audio, no nos queda otra que prescindir de uno de ellos.

Una vez hecho esto, aplicamos silicona caliente a la salida de los cables del conector con el fin de dar resistencia a este. Y después soldamos el conector de servo a los tres cables del conector, respetando el siguiente orden: masa, audio, video.



Figura 5.18. Cable de conexión cámara-transmisor de video.

El resultado de los últimos tres apartados quedara así:



5.19. Sistema de video inalámbrico.

Como se ve en la figura el cable queda olguero, esto es necesario para permitir el movimiento del pan and till.

Por otro lado tenemos el receptor de video, las video gafas y su batería, que vienen listas para conectar excepto la batería, para la que tendremos que fabricar un cable T-deán por un lado y con conector de 3.5 mm y dos polos por el otro. El conjunto conectado quedara así:



Figura 5.20. Conjunto video gafas-receptor de video-batería.

Añadiremos también un trozo de velcro en las baterías principal y secundaria, para la sujeción de esta última.

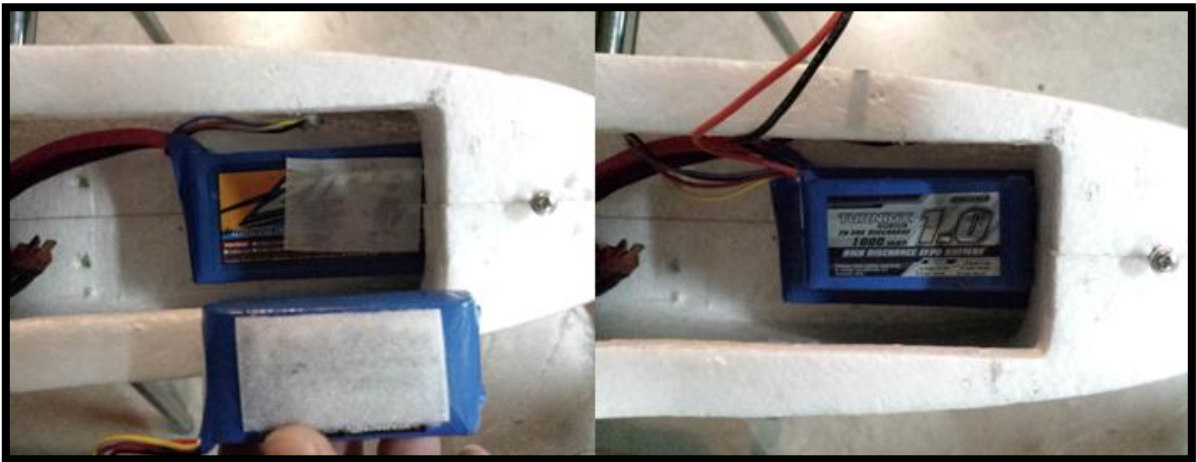


Figura 5.21. Baterías principal y secundaria.

Por ultimo comprobaremos el centro de gravedad con la nueva distribución de pesos y añadiremos lastre si fuera necesario, aunque en esta ocasión no lo es.

5.2. Configuración GoPro.

En la siguiente figura se describen las partes más importantes de la cámara.

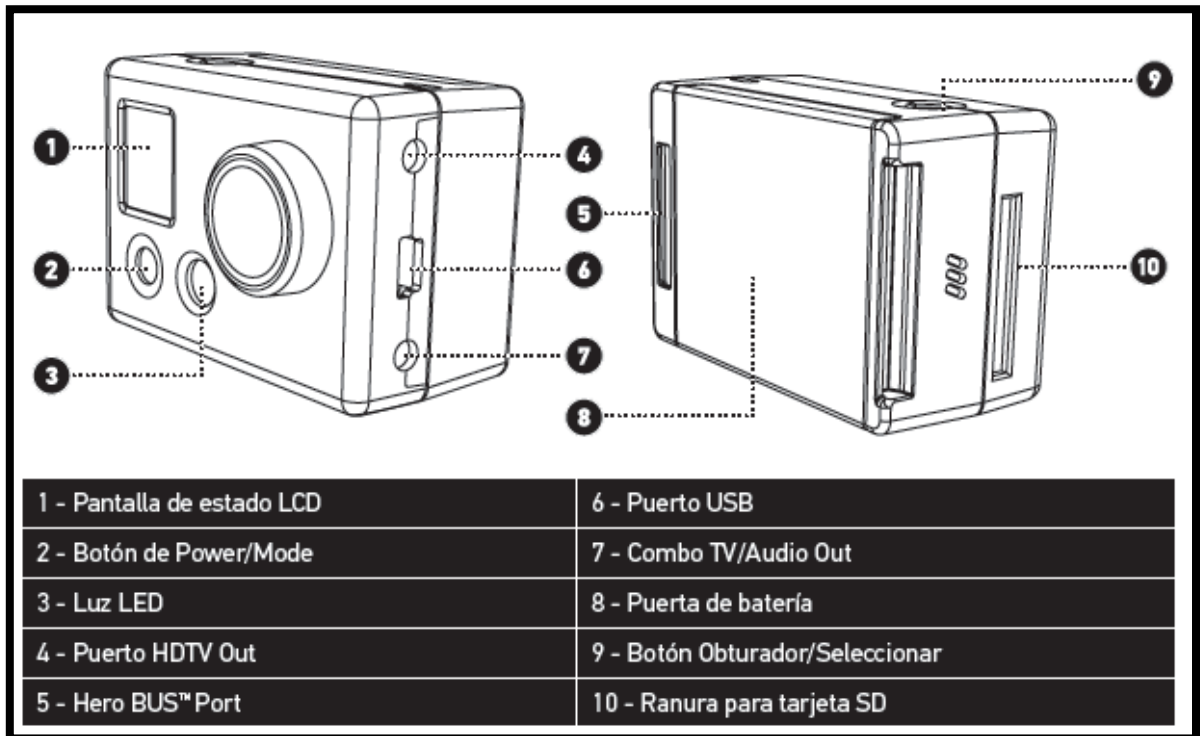


Figura 5.22. Partes de la GoPro.

Todas las opciones de la cámara las manejaremos con dos botones, el botón Power/Mode que nos permitirá viajar por el menú de configuración y botón Obturador/Seleccionar, para elegir la opción que queremos.

Para encender la cámara debemos pulsar unos segundos el botón Power/Mode, e igualmente para apagarla.

Para nuestros fines nos interesa grabar y simultáneamente obtener la imagen en tiempo real por el puerto combo TV (7). Para ello accedemos al menú pulsando la tecla Power/Mode hasta que aparezca en el display la palabra Set, cuando aparezca pulsar el botón Obturador/Seleccionar para entrar en el menú. Entre otras muchas cosas podremos cambiar la calidad de imagen, desactivar o activar el OSD de la cámara, ... Lo que mas interesa es la opción de activar o desactivar "Video Live

Feed” , LFF significará desactivado y LFO activado, conmutar con el botón Obturador/Seleccionar para poner LFO y darle al botón Power/Mode para aplicar el cambio.

Una vez configurado todo a nuestro gusto, antes de cada vuelo solo tendremos que encender la cámara y pulsar una vez el botón Obturador para comenzar a grabar, acción que nos confirmara el led rojo instalado en el frontal de la cámara.

5.3. Prueba de vuelo FPV.

Ahora vamos a realizar una prueba de vuelo en primera persona, para asegurarnos de que el equipo añadido no provoque interferencias en el radiocontrol, ni afecte al comportamiento del aeromodelo, y si la prueba es positiva podremos continuar con la incorporación del ardupilot en el siguiente capítulo.

Debido a que no tenemos instalado todavía ningún osd, ni recibimos telemetría alguna en tierra, tendremos la precaución de no alejarnos demasiado de la pista, ya que podríamos perdernos, además al no tener instalado tampoco el piloto automático en caso de problemas en el enlace de radio las consecuencias podrían ser muy graves.

Antes de iniciar el vuelo clavaremos un pica en el suelo y sobre ella colocaremos un mástil, sobre el que colocaremos el receptor de video, con el fin de evitar obstáculos y pueda tener visión directa con el transmisor de video; también colocaremos en el mástil la batería que alimentara receptor de video y video gafas. Una vez conectado todo quedara así:



Figura 5.23. Mástil con receptor de video y video gafas.

Vuelo nº5.

- Fecha: 9/07/2013.
- Hora: 10:00.
- Velocidad viento: 5 Km/h.
- Duración vuelo: 13'.
- Voltaje batería principal al aterrizar: 11.56V, celda1: 3.84, celda2: 3.86, celda3: 3.86.
- Consumo batería principal: 2055mAh.
- Voltaje batería secundaria al aterrizar: 12.19V, celda1: 4.04, celda2: 4.08, celda3: 4.07.
- Consumo batería secundaria: 137mAh.

El vuelo se podrá ver en el siguiente enlace de youtube: <http://youtu.be/aM9rndKDseg>

Conclusiones.

El vuelo termina con éxito con una duración de 13', no se aprecian interferencias entre las dos señales de radio y tampoco se nota variación en el comportamiento del vuelo del aeromodelo.

Tanto el despegue como el aterrizaje se realizó en tercera persona, y el resto del vuelo en primera persona.

Solo se ha detectado un problema, y es que cuando funciona el motor se producen ondulaciones en la imagen de la cámara. El problema será producido seguramente por las interferencias producidas por la señal trifásica del variador; si persisten los síntomas habrá que tomar medidas como aislar el variador con una jaula de Faraday.



Figura 5.24. Vuelo en primera persona.

CAPITULO 6. Ardupilot Mega: Configuración, implementación y pruebas.

En este capítulo se van a realizar todos los ajustes necesarios sobre el ArduPilot Mega (APM), antes y después de instalarlo en el avión, para finalmente terminar de ajustarlo tras las primeras pruebas de vuelo autónomo.

6.1. Configuración APM.

Para este fin utilizaremos el Mission Planner 1.2.60 mav 1.0, también conocido como APM Planner. La citada aplicación es un programa desarrollado por el equipo de DIY Drones que se puede descargar en el siguiente enlace:

<http://code.google.com/p/ardupilot-mega/downloads/list>

El Mission Planner nos ofrece las siguientes funciones:

- Configuración del APM.
- GCS o Ground Control Station, es decir podemos utilizarlo como estación base de control junto con un kit de telemetría bidireccional.
- Adquisición de datos: Esta función nos permite extraer los datos de vuelo.
- Simulación con simuladores de vuelo como X-Plane o FlighGear.
- Cargar el código del APM.
- ...



Figura 6.1. Mission Planner 1.2.60.

Podremos conectar la placa al Mission Planner de dos maneras, dependiendo de la posición del interruptor CLI (Command Line Interpreter) del APM, para ambas debemos seleccionar el puerto COM en el que esta conectada la placa y seleccionar la velocidad de 115200 bits por segundo:

- **Modo vuelo:** Este modo será para realizar ciertas tareas de configuración, pero fundamentalmente se usara durante los vuelos. El interruptor CLI debe ponerse en la posición más alejada de los pines de los servos para poder usar este modo.
- **Modo configuración:** Para usar este modo debemos poner el interruptor CLI en la posición contraria, la más alejada de los pines de los servos. Con el interruptor en esta posición podemos volcar el programa a la placa y acceder a la consola serie del Mission Planner para llevar a cabo la configuración y calibración de la placa y sus sensores.

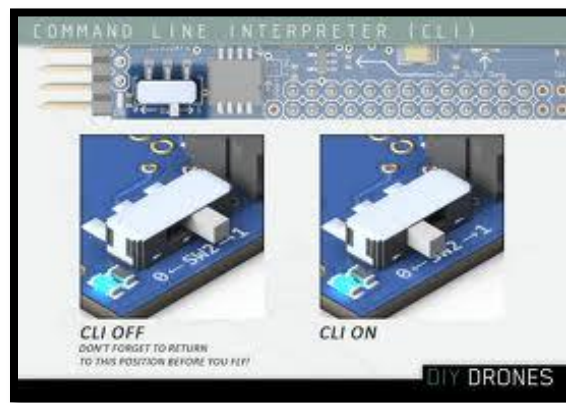


Figura 6.2. Interruptor CLI.

6.1.1. Alimentación APM y periféricos.

La alimentación del APM se puede llevar a acabo por tres vías:

- Por el cable USB cuando esta conectado al PC.
- Por los pines Vcc-Masa de los canales del receptor conectados al APM.
- Con una fuente de alimentación de entre 6 y 12 voltios.

Con el fin de simplificar el sistema utilizaremos alimentación USB cuando estemos trabajando con el PC y alimentación a través del receptor de radio cuando este funcionando en el avión.

Debemos tener en consideración que la tensión de alimentación de las placas del APM que se recibe por USB, no llegara al receptor, ya que por las entradas "IN" solo se puede alimentar el sistema. Por lo que si vamos por ejemplo a calibrar la emisora, al conectar el APM al PC, deberemos también alimentar por separado el receptor de radio con una tensión de entre 5 y 6 voltios, a través de cualquiera de los canales o de los terminales "BAT".

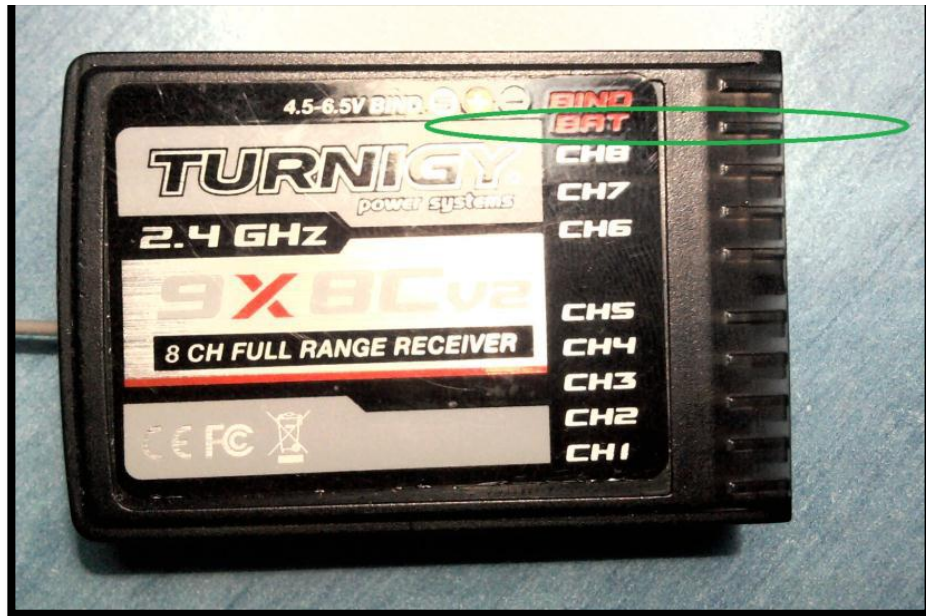


Figura 6.3. Alimentación receptor de radio.

6.1.2. Instalación y configuración del driver del circuito FTDI.

Para poder conectar el APM con el ordenador antes debemos asegurarnos de que este lo reconoce y si no es así debemos de instalar el driver para circuito FTDI que podremos descargar en el siguiente enlace:

<http://www.ftdichip.com/Drivers/VCP.htm>

Una vez instalado el drivers y con el APM conectado mediante USB al ordenador, debemos de buscar la placa en el administrador de dispositivos del panel de control de Windows y abrir sus propiedades, donde cambiaremos la velocidad en bits por segundo a 115200. Una vez hecho esto abriremos las opciones avanzadas y marcaremos la casilla “RTS alto al cerrar”.

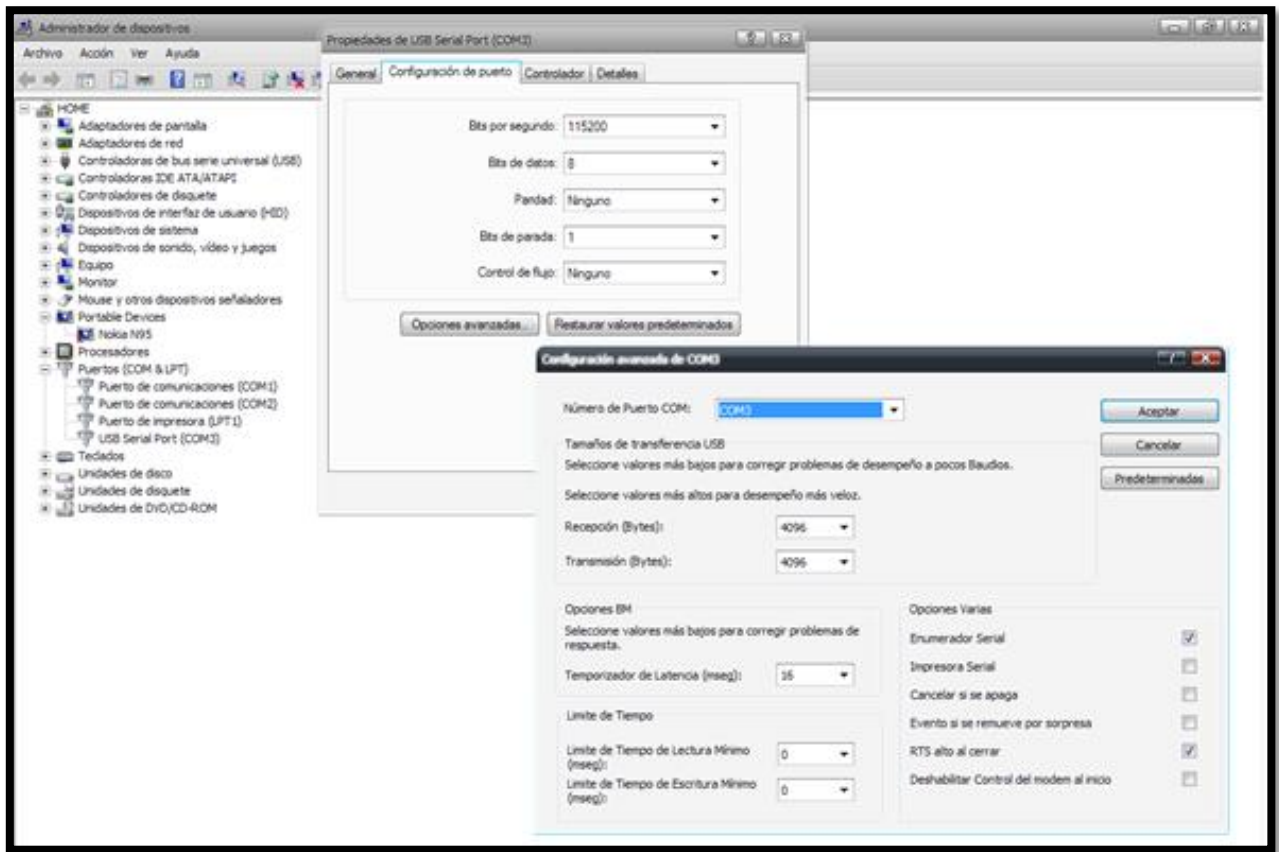


Figura 6.4. Configuración del puerto COM3.

6.1.3. Carga del firmware.

Lo primero que debemos hacer al conectar la placa al Mission Planner, en adelante MP, será cargar la última versión de firmware disponible, para ello comenzaremos poniendo el selector CLI en la posición más cercana a los pines de los servos (modo configuración) y la conectaremos al ordenador mediante el cable USB. Después abriremos el MP y seleccionaremos en la esquina superior derecha el puerto al que está conectado el APM, en este caso es el COM3, y también seleccionaremos la velocidad de 115200 bits por segundo. Una vez hecho esto haremos clic en la pestaña hardware y nos aparecerá una ventana como la de la siguiente figura:



Figura 6.5. Ventana de carga de firmware.

Al abrir la ventana el MP descargara automáticamente las últimas versiones de firmware disponibles y además en la parte inferior derecha tendremos los siguientes botones:

- PX4IO Firmwares: Para descargar firmwares desarrollados por otro autor.
- Beta Firmwares: Para descargar también versiones beta.
- Load custom firmware: Para cargar un firmware personalizado, por ejemplo uno que previamente hallamos retocado acorde a nuestras necesidades con el editor de Arduino.
- Pick previous firmware: Para descargar versiones anteriores de firmware.

También podemos observar que nos aparecen firmwares para aviones (ArduPlane), helicópteros y multicopteros (ArduCopter) y coches (ArduRover), y eso es porque la placa APM es compatible también con helicópteros, multicopteros y coches. Pero como a nosotros el firmware que nos interesa es el del ArduPlane, pincharemos sobre este y tras confirmar la carga del firmware ArduPlane V2.74b, este se volcara en nuestra placa.

6.1.4. Calibración emisora de radiocontrol.

Conviene calibrar la emisora la primera vez que se conecta al APM y cada vez que se realizan cambios importante en la configuración. Una vez calibrada podremos guardar los parámetros en un archivo para poder utilizarlos en distintos ordenadores o distintos APM.

Antes de comenzar conectaremos el receptor de la emisora al APM como se expone en la siguiente tabla.

	Receptor radio	Entrada APM	Salida APM
Yaw-Guiñada	Canal 1	IN1	OUT1
Pich-Cabeceo	Canal 2	IN2	OUT2
Roll-Alaveo	Canal 3	IN3	OUT3
Throtte-Gas	Canal 4	IN4	OUT4
Canal Auxiliar	Canal 8	IN8	OUT8

Tabla 6.1. Conexión receptor de radio-APM.

Y también conectaremos unos servos a las salidas OUT 1, 2, 3 y 4 para comprobar que todo va bien.

Como siempre llevaremos especial cuidado con las conexiones, tanto receptor-APM, como APM-servos, teniendo en cuenta que el cable de color mas claro de los conectores corresponde a la señal, rojo a Vcc y negro a masa, en el receptor vienen indicados los tres pines y en para el APM podremos guiarnos por la siguiente figura.

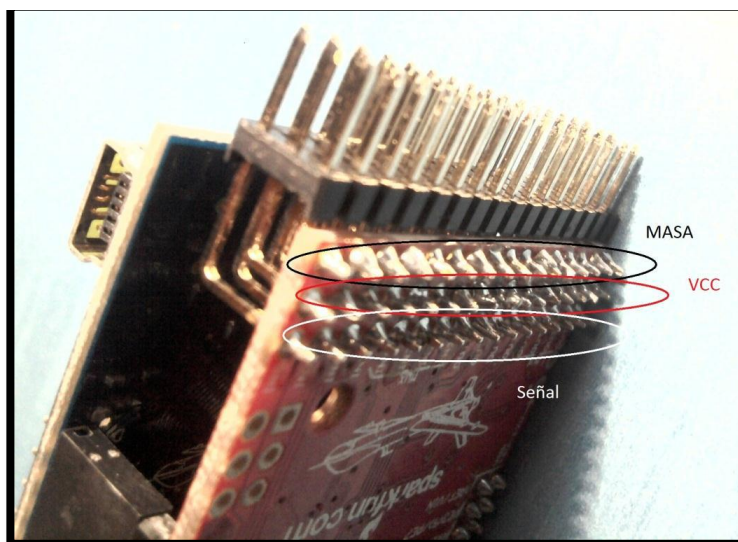


Figura 6.6. Pines In-Out del APM.

También debemos de asignar a un canal de la emisora un potenciómetro, que nos servirá para seleccionar el modo de vuelo, por lo que vamos a utilizar el canal 8 y vamos a asignarle el potenciómetro Hov.Pit. Para ello iremos al menú Func. Setting y elegiremos la función AUX-CH, en ella iremos al canal 8 y seleccionaremos el potenciómetro deseado.



Figura 6.7. Asignación de potenciómetro al canal 8.

Ahora alimentaremos el receptor, conectaremos el APM mediante USB al PC, encenderemos la emisora y abriremos el MP. El conjunto quedara así:

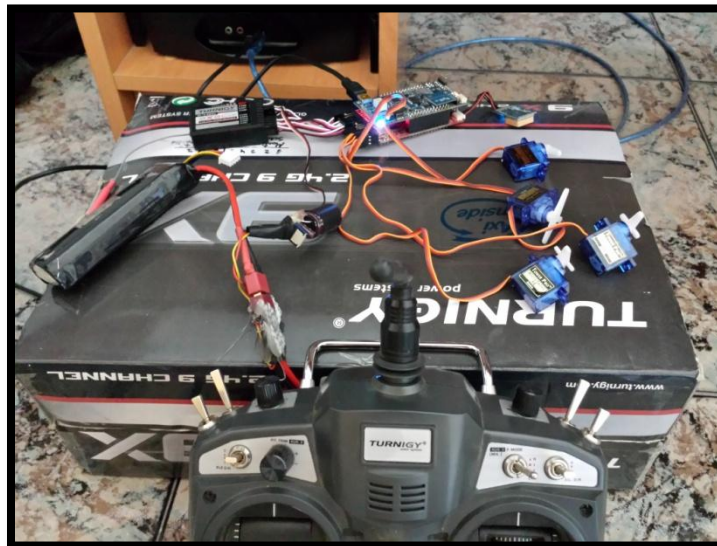


Figura 6.8. Calibración de la emisora de radiocontrol.

Ya estamos en disposición de realizar la calibración de la emisora; en el menú del MP iremos a “Hardware/Mandatory hardware/Radio Calibration”. Nos aparecerán 8 barras, correspondientes a cada uno de los canales de la emisora, y observaremos que si movemos los sticks de la emisora, las barras se mueven.



Figura 6.9. Ventana de calibración de la emisora de radiocontrol.

Para iniciar la calibración pulsaremos “Calibrate Radio”, y nos aparecerá un mensaje que nos pedirá que llevemos a sus valores extremos todos los canales conectados al APM. Una vez finalizada la calibración nos aparecerá una ventana con el rango de amplitudes de la señal PWM (Modulación por ancho de pulso) de cada canal.

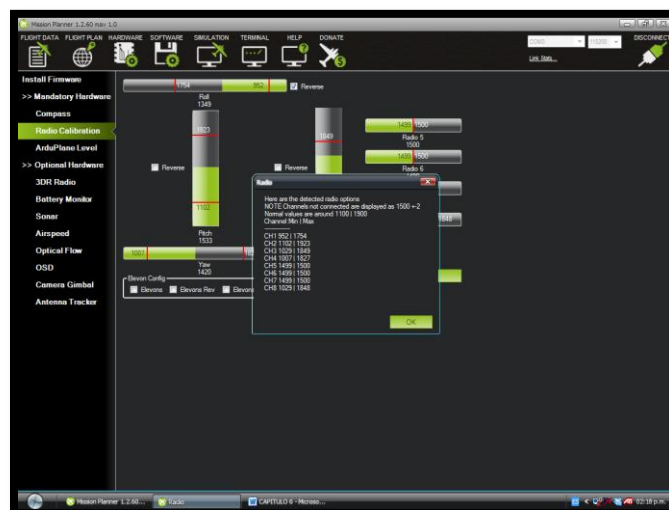


Figura 6.10. Finalización de la calibración de la emisora de radiocontrol.

El procedimiento anterior de calibración también se podría haber realizado también mediante la terminal del MP, para ello debemos escribir “Setup”, después “Radio”, y nos volverá a pedir que llevemos los canales desde la emisora a sus valores extremos.

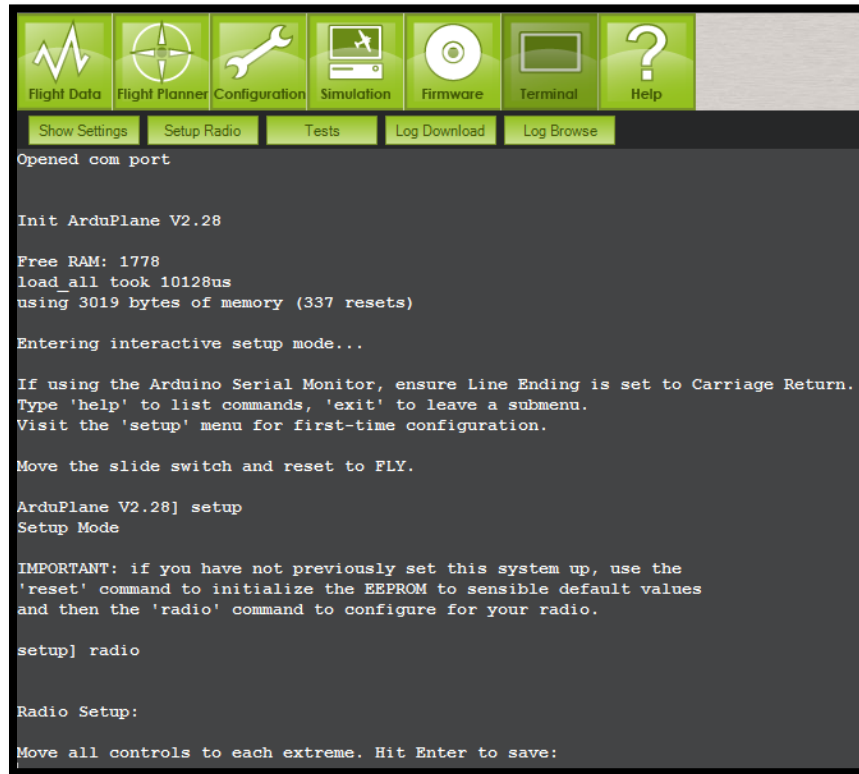


Figura 6.11. Calibración de la emisora desde la terminal del MP.

6.1.5. Calibración magnetómetro.

Para la calibración del magnetómetro tenemos tres opciones:

1. Dejar que el código trate de averiguar todas las compensaciones y la declinación magnética¹ mediante la comparación de las lecturas de la brújula con las lecturas del GPS y la IMU durante el comienzo del vuelo. Pro: No supone esfuerzo para el usuario. Contra:

¹ La declinación magnética en un punto de la Tierra es el ángulo comprendido entre el norte magnético local y el norte verdadero (o norte geográfico). En otras palabras, es la diferencia entre el norte geográfico y el indicado por una brújula (el denominado también norte magnético).

Por convención, a la declinación se le considera de valor positivo si el norte magnético se encuentra al este del norte verdadero, y negativa si se ubica al oeste.

Se tarda unos minutos en llevar a cabo el proceso y por tanto durante el primer vuelo la brújula será inexacta.

2. Calibración manual con el MP. Hay que introducir la declinación magnética como se indica a continuación y luego presionar el botón "Live Calibración" y mover y girar el avión alrededor de 30 segundos, mientras que se registran los datos para calibrar el sensor. Pro: Funciona. Contra: es un poco incómodo, especialmente para las grandes aeronaves. También que no refleja la interferencia magnética que puede ocurrir cuando los motores van en vuelo.
3. Reproducir un registro de vuelo. Esta es una opción muy reciente, que se muestra Registro de calibración, donde sólo se puede reproducir un registro de vuelo previamente grabada (. Tlog) y el código comparará las lecturas del GPS y la IMU con la lectura de la brújula para hacer las correcciones necesarias. Pro: Funciona muy bien. Contra: Ya debe haber volado previamente.

Vamos a elegir la primera opción ya que nos interesa que durante el calibrado se tenga en cuenta las interferencias electromagnéticas producidas por elementos como el motor y ESC; tras los primeros vuelos nos plantearemos utilizar la opción 3.

Para introducir manualmente la declinación magnéticas de una ubicación geográfica determinada, debemos consultarla antes, podemos hacerlo en la siguiente dirección, <http://magnetic-eclination.com/#>

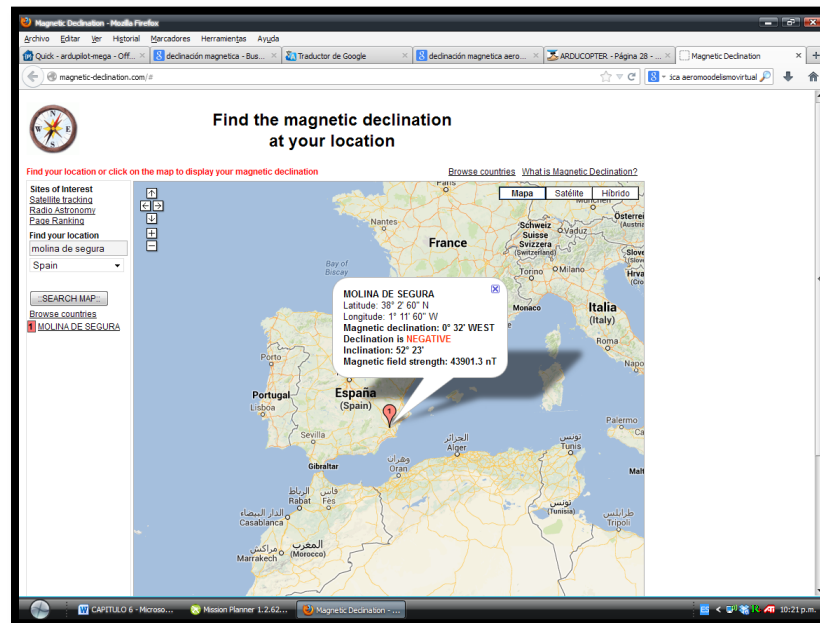


Figura 6.12. Consulta de la declinación magnética para Molina de Segura.

Por lo que deberemos introducir 0°32' negativo, o lo que es lo mismo 0°32' Oeste.

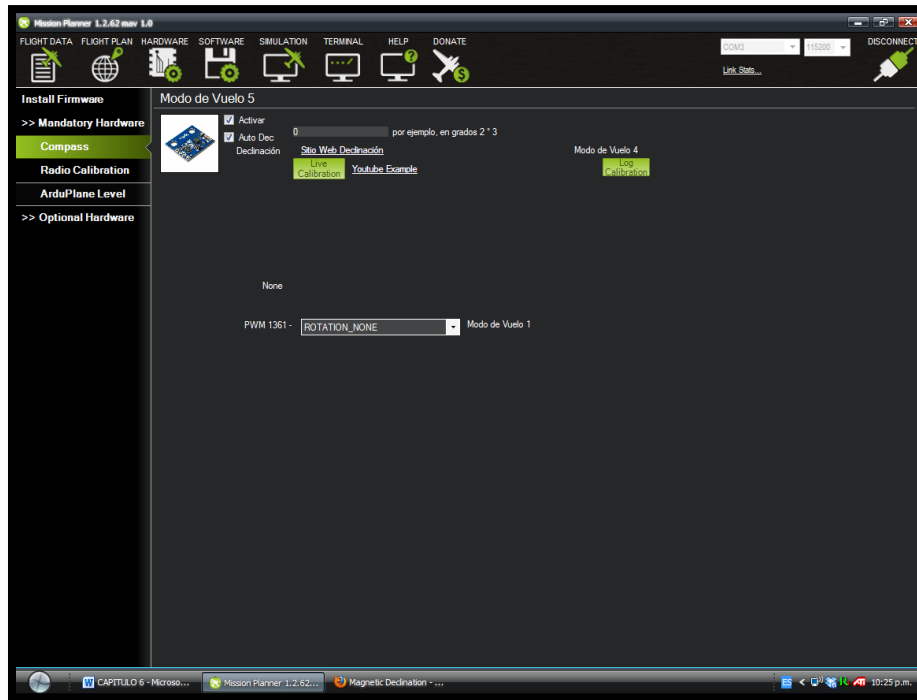


Figura 6.13. Calibración del magnetómetro desde MP.

6.1.6. Configuración de los modos de vuelo.

Ahora configuraremos los Modos de Vuelo, para ello debemos antes realizar las mezclas oportunas en la emisora para que mediante sus selectores “Flight Mode” y THRO HOLD” o “GEAR” podamos seleccionar 6 modos de vuelo distintos.



Figura 6.14. Selectores Thro hold, Gear y Flight Mode.

Mediante la combinación de los selectores “GEAR” o “THRO HOLD”, (elegiremos el que mas cómodo nos sea), y el selector “FLIGHT MODE”, debemos conseguir los siguientes anchos de pulso: 1165, 1295, 1425, 1555, 1685 y 1815, que se corresponderán los modos de vuelo 1,2,3,4,5 y 6 del APM. Además aunque anteriormente hemos elegido el canal 8 del receptor para la selección de modos de vuelo, para poder realizar las siguientes mezclas debemos utilizar el canal 5 y además el canal 6 quedara inutilizado, todo esto debido a restricciones de la emisora.

Ante de comenzar con la programación de las mezclas decir que para el ajuste del ancho de pulso hemos utilizado un programador de servos, aunque también podemos hacerlo con el APM conectado al MP, y este último en la ventana de selección de modos de vuelo.

Comenzamos:

1. Primero borraremos cualquier modo de vuelo o mezcla existente en la memoria de nuestro modelo.
2. Ahora en Func Setting, comprobaremos que los subtrim de los canales 5 y 6 estén todos a cero y que los end points estén a +/-100, para ello iremos a SUBTRIM y E.POINT.
3. En Func Setting/AUX-CH, estableceremos THRO HOLD para el canal 5 y dejaremos vacío el 6.



Figura 6.15. Asignación de selector thro hold a canal 5.

4. Ponemos el interruptor Mode F en la posición 2 y THRO desactivado, y a continuación vamos a PROG.MIX y configuramos MIX1 como en la siguiente figura. Ajustaremos el valor DNRATE para obtener un pulso de salida de 1555.



Figura 6.16. Pulso 1555us.

5. Ahora pondremos el selector F Mode en la posición 2 y el THRO lo activaremos. Para conseguir el pulso de 1425us ajustaremos el valor UPRATE y pulsaremos la tecla menú para guardar.

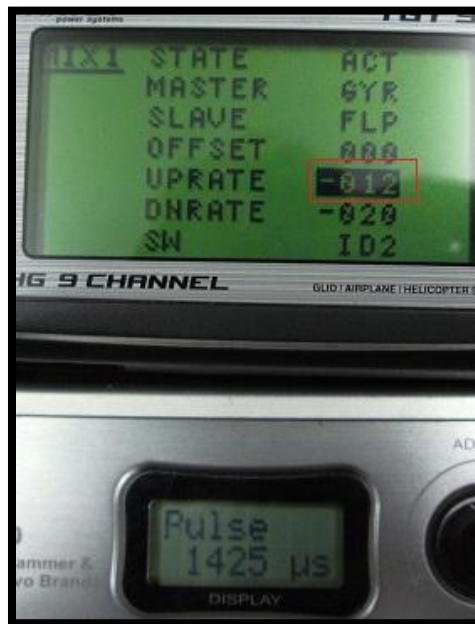


Figura 6.17. Pulso 1425us.

6. Colocamos el interruptor F Mode en la posición N y el THRO lo dejaremos desactivado. Abriremos MIX2 y la ajustaremos como se ve en la figura 6.16., excepto el valor DNRATE que lo ajustaremos hasta obtener un pulso de 1685.

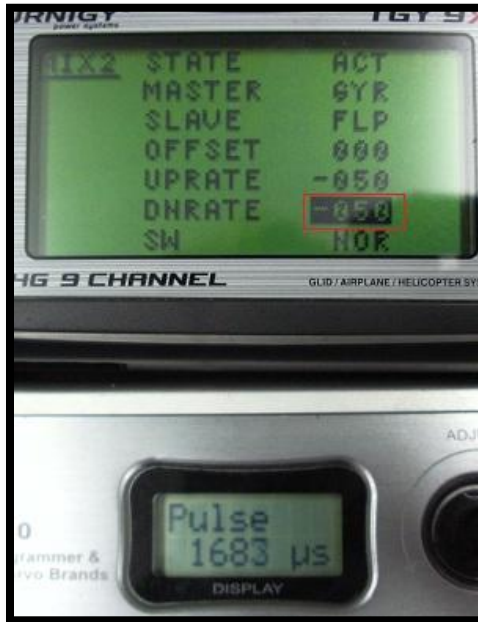


Figura 6.18. Pulso 1685us.

7. Dejamos F Mode en la posición N y activamos el interruptor THRO. Hecho esto ajustaremos UPRATE hasta conseguir un pulso de 1295us y pulsaremos la tecla menú para guardar.



Figura 6.19. Pulso de 1295us.

8. Ponemos el interruptor F Mode en 1 y el THRO desactivado y abrimos MIX3. Una vez dentro ponemos los valores de los parámetros como en la figura 6.18. y ajustamos con DNRATE para obtener un pulso de 1815us.

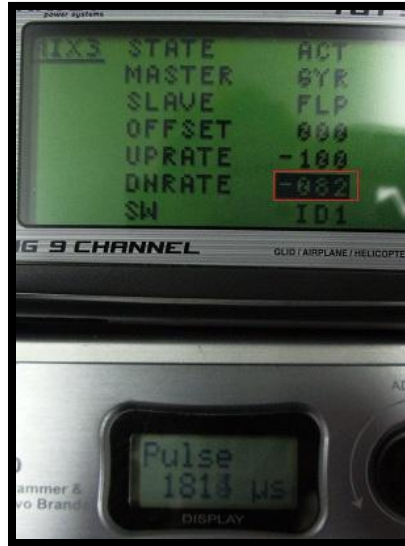


Figura 6.20. Pulso de 1815us.

9. Ahora dejamos el interruptor F Mode en la posición 1 y activamos el interruptor THRO. Con UPRATE ajustaremos el valor de la salida a 1165us.

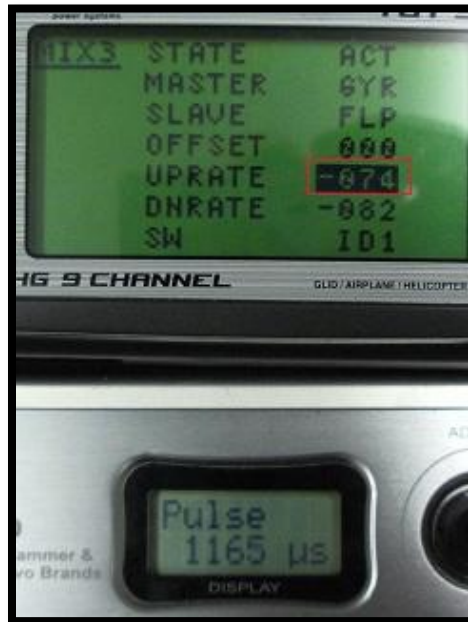


Figura 6.21. Pulso de 1165us.

Ahora ya estamos en disposición de asignar a cada una de las seis posiciones un modo de vuelo, para ello pulsaremos la pestaña “Software” del MP y después en “Flight Modes” nos aparecerá lo siguiente:

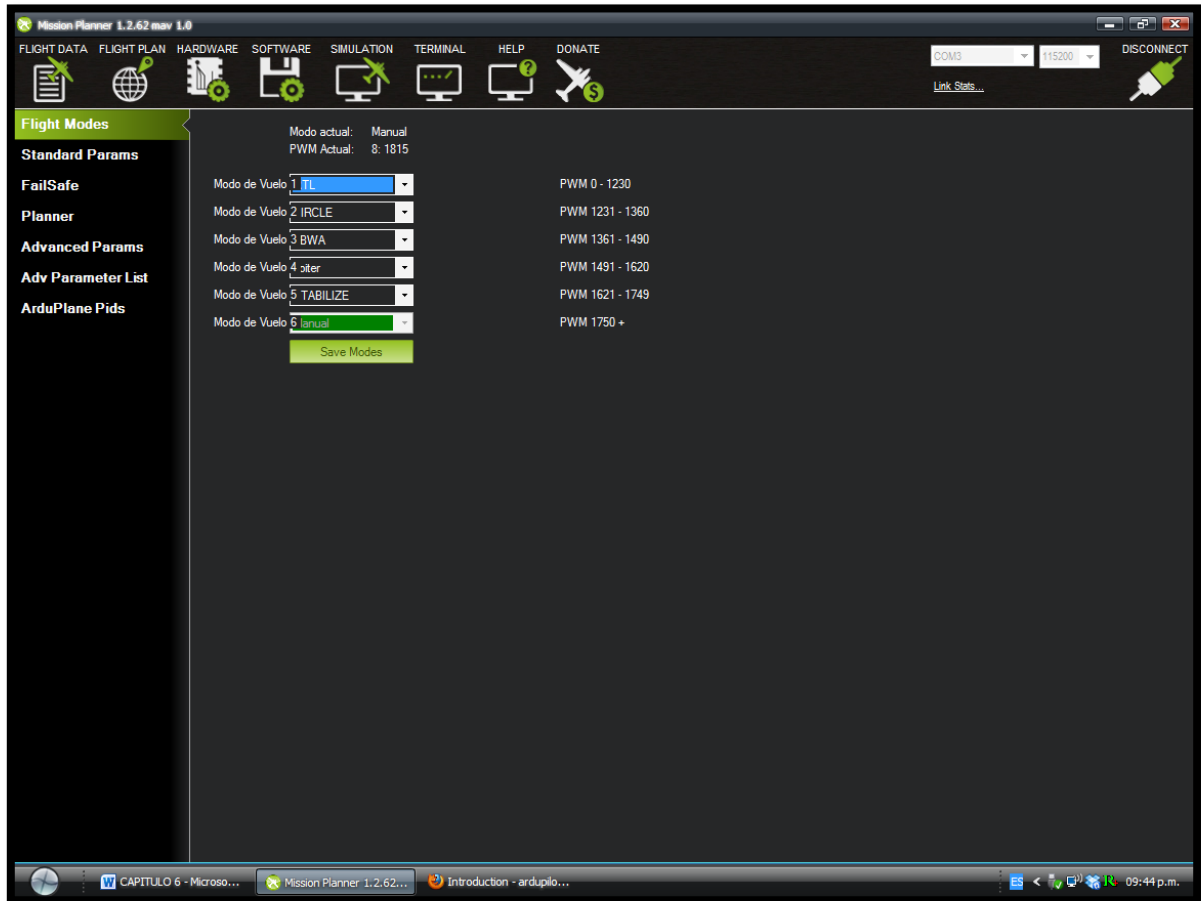


Figura 6.22. Configuración de la selección de los modos de vuelo.

Como se ve en la figura anterior tenemos seis huecos en los que podremos seleccionar seis modos de vuelo, y que se corresponderán con los anchos de pulso anteriormente descritos.

De momento elegiremos los modos de vuelo siguientes: Mode1-RTH, Mode2-Circle, Mode3-FBWA, Mode4-Loiter, Mode5-Stabilice, Mode6-Manual.

Decir que tenemos 7 modos de vuelos disponibles:

- **Modo Estabilización**, mantiene recto el avión pero sin controlar la velocidad, mientras este en este modo, el usuario puede dirigir el aeromodelo a donde quiera y si se sueltan las palancas de la emisora el APM mantendrá el avión en posición horizontal, lo mas estable posible.

- **Modo Vuelta a casa o Return to Launch (RTH)**, el avión vuelve al punto desde el que despegó.
- **Modo Fly by Wire**, este modo es parecido al modo estabilización pero además evita que puedas realizar maniobras muy bruscas, es decir aunque llevaras el stick del alabeo hacia un extremo el avión giraría suavemente. Este modo se puede configurar de dos modos A y B, en el primero no afectara al motor, mientras que en el segundo si, dependiendo de la velocidad que queramos.
- **Modo Loiter**, al activar este modo el avión comenzara a dar vueltas en círculos, con centro el punto donde se encuentre el avión cuando activemos la función. El parámetro radio del circulo podrá ser configurado.

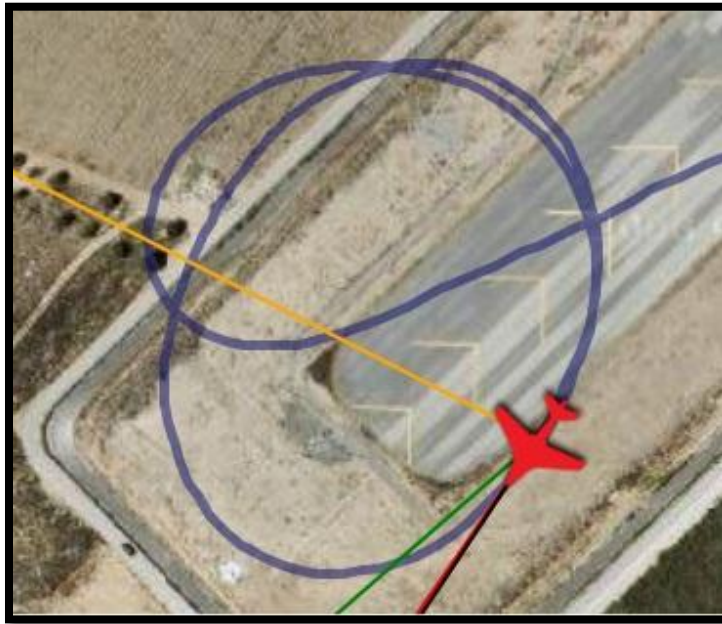


Figura 6.23. Modo Loiter.

- **Modo Auto**, en este modo el avión va a unos puntos (waypoints) preprogramados, se pueden configurar fácilmente con el Mission Planner. No solo se le puede decir que se dirija a un punto determinado, si no que también se puede programar para que al llegar a ese punto espere un determinado tiempo dando vueltas y siga con la ruta o que conmute el estado del relé de la placa. Se puede regular la altura y la velocidad a la que queremos que valla el avión en cada uno de los waypoints. Una vez que el avión a realizado la ruta, esperara en el punto donde comienza la ruta dando vueltas.



Figura 6.24. Modo Auto.

- **Modo Circulo**, este modo se activara automáticamente si se detecta una perdida de señal de radiocontrol y comenzara a realizar círculos alrededor del punto en que se perdió la señal. Si transcurrido un tiempo programado no se recupera la señal, automáticamente pasa a modo RTH y vuelve al punto de despegue.
- **Modo Guiado**, este modo solo se puede activar utilizando el APM Planner como estación de tierra, se pincha en el mapa el punto al que queremos que se dirija el drone, y tras introducirle la altura deseada el avión pondrá rumbo a ese punto.

6.1.7. Configuración de Parámetros.

Para ellos iremos a Software/Configuration/Arduplane, y veremos una serie de parámetros a la izquierda y otros a la derecha que son los mas utilizados.

Hay un total de 171 parámetros, la mayoría de ellos son muy intuitivos y algunos se modifican automáticamente cuando calibramos la emisora, sensores, ... por lo que no habrá que modificar cada uno de estos parámetros.

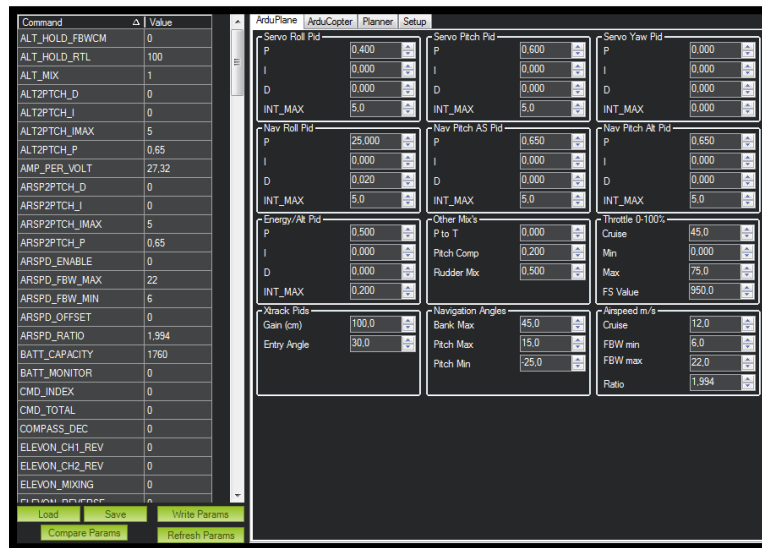


Figura 6.25. Lista de Parámetros.

La configuración de los parámetros se puede guardar en un archivo para cargarse posteriormente. Además DIY Drones tiene en su web varios archivos con los parámetros de los aeromodelos mas usados, entre los que se encuentra el Skywalker, por lo que podríamos cargarlo tras descargarlo de la siguiente dirección, <http://code.google.com/p/ardupilot-mega/wiki/ConfigFiles?wl=en>. Para ello pulsaremos “load” y seleccionaremos el archivo que contenga los parámetros, después pulsaremos “write params”, para cargarlos en el APM. Los parámetros que se modificaran aparecerán sombreados de color verde.

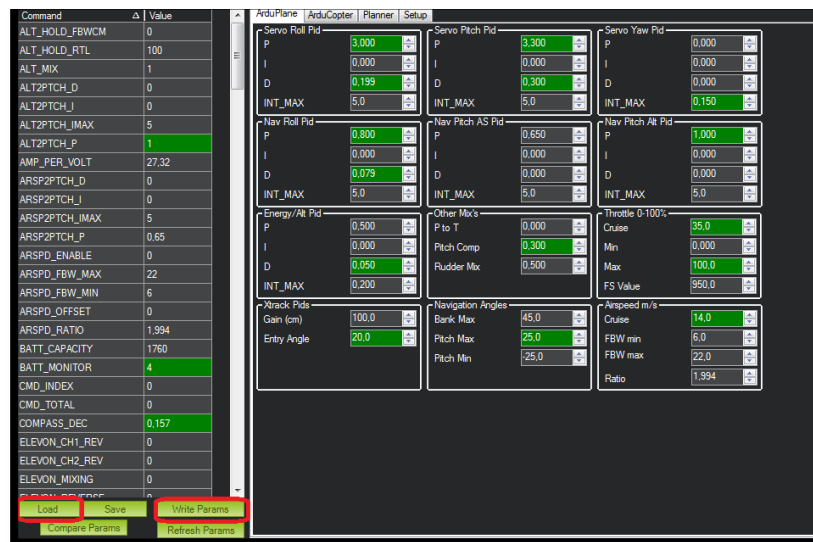


Figura 6.26.Carga de parámetros.

También nos encontramos con la opción de comparar dos listas de parámetros distintas, la cargada en el APM y la de un archivo. Para ello pulsaremos “compare params”, esta opción es muy interesante para usar archivos como guía a la hora de crear nuestras configuraciones.

Recomendaciones para la carga de nuevos parámetros.

1. Probar el modo manual para asegurarse de que todo esta bien conectado.
2. Probar en tierra el modo de estabilización, comprobar que al inclinar el avión los alerones se mueven en la dirección correcta.
3. Probar el modo estabilización en el aire y si el roll o el pitch oscila demasiado reducir las ganancias P.
4. Volar con el modo Fly By Wire A, probar a volar recto y luego mover la palanca de roll a tope hacia un lado, el avión deberá estar inclinado 45°. Disminuir P roll si es inestable y aumentar si no se inclina lo suficiente, hacer lo mismo para el pitch.
5. Probar ahora en modo Fly By Wire B, si aun aplicando los cambios del punto 4, no funciona bien, comprobar los valores de los parámetros de LIM_ROLL_CD, LIM_PITCH_MAX Y LIM_PITCH_MIN, las unidades de estos están en grados. LIM_ROLL_CD establece el ángulo cuando hacemos un giro y los otros dos el pitch máximo y mínimo.
6. En el mismo modo de vuelo, comprobación de que el avión se mantiene nivelado, si el avión pierde altura poner 10 veces mas al valor del parámetro PITCH_COMP.
7. Probar el modo RTL, el avión debería ser capaz de volver en línea recta si tiene el valor adecuado de P roll obtenido en los anteriores pasos, si no funciona bien aumentar un 25% el P roll, si aun no es suficiente aumentar I roll.
8. Cuando el avión tiene que seguir una serie de waypoints podemos configurar el XTRACK_GAIN. En la siguiente figura podemos ver la diferencia entre utilizarlo y no utilizarlo.

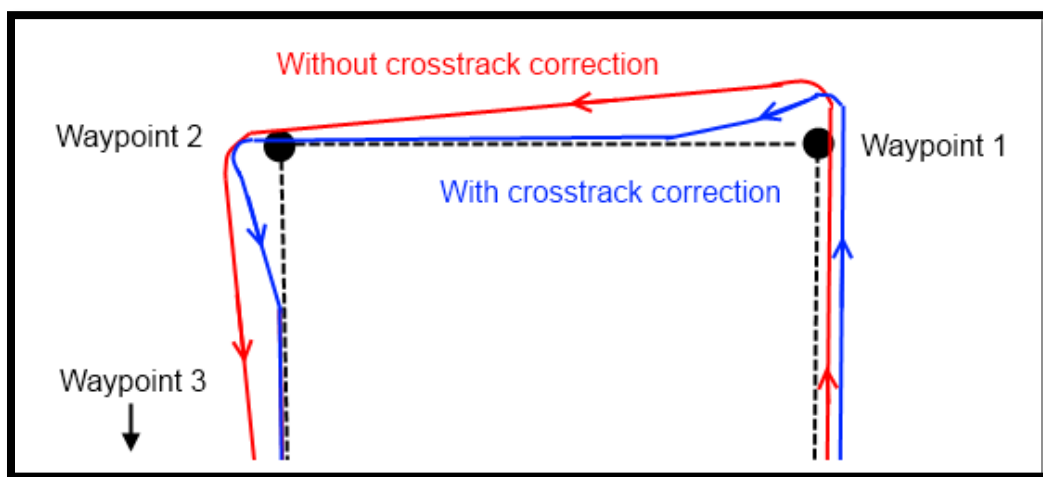


Figura 6.27. Xtrack_Gain.

Sus parámetros son la ganancia y el ángulo de entrada máximo.

6.1.8. Configuración de Waypoints.

Con el modo de vuelo Auto activado podremos realizar una ruta de waypoints previamente diseñada con el MP, a estas rutas le podremos especificar la velocidad y la altura a la que queremos que el avión vaya por cada punto. Para trazar la ruta nos ayudaremos de los mapas del Google Earth que se cargaran automáticamente en el APM, aunque podríamos utilizar otros mapas.



Figura 6.28. Ventana Flight Plan.

Comenzaremos estableciendo el punto “Home”, si estamos conectados por telemetría o por usb con el APM lo podremos establecer automáticamente haciendo clic en Home Location.

Conforme vayamos haciendo clic sobre el mapa se irán colocando los waypoints, y una vez colocados se podrán mover, también se podrá cambiar su altura cambiando el valor de Alt.



Para cargar y guardar archivos de waypoints, podremos hacerlo dándole a Save WP File o Load WP File, Read WPs será para leer el archivo contenido en la memoria del APM y Write WPs para cargar la ruta al APM.

6.2. Instalación del A.P.M. en el avión.

Vamos a proceder con la instalación del APM en el drone, para ello deberemos tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La parte de la placa en la que se encuentra el conector del GPS, deberá estar orientada hacia el morro del avión y los conectores de los servos deberán quedar en la parte posterior.



Figura 6.29. Orientación de la placa APM.

- Debemos de montar la placa de forma que quede firme y no se mueva durante el vuelo.
- También es muy importante colocar la placa sobre una base que absorba parte de las vibraciones producidas por el motor y el propio vuelo de la aeronave.
- El APM debe colocarse lo mas cerca posible del centro de gravedad del avión, hay la vibración será menor y además la respuesta de la IMU será mas precisa y efectiva.

Teniendo en cuenta lo anterior comenzaremos cortando dos rectángulos, uno de corcho y el otro de espuma (se han obtenido de embalajes de aparatos electrónicos), ambos absorben muy bien las vibraciones; deberán tener un tamaño 1,5 veces el de la placa.

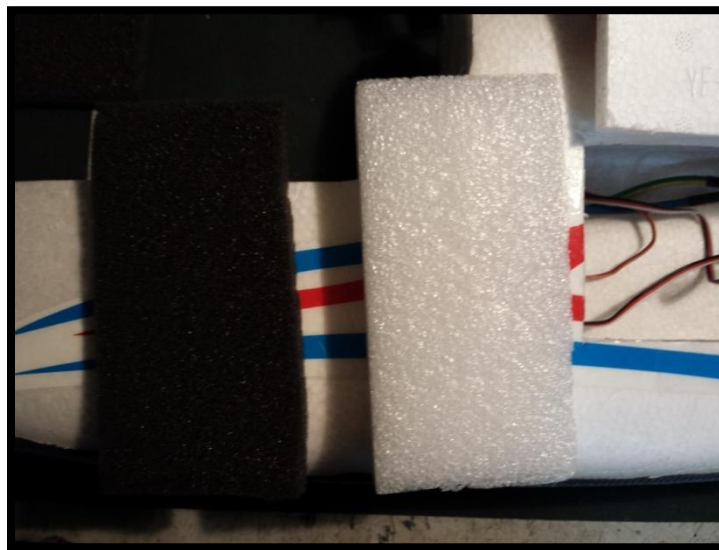


Figura 6.30. Rectángulos de corcho y espuma para la base del APM.

Colocaremos velcro en una de las caras del rectángulo de corcho y en la base de la bodega de carga, de modo que se pueda fijar el rectángulo de corcho a la bodega.

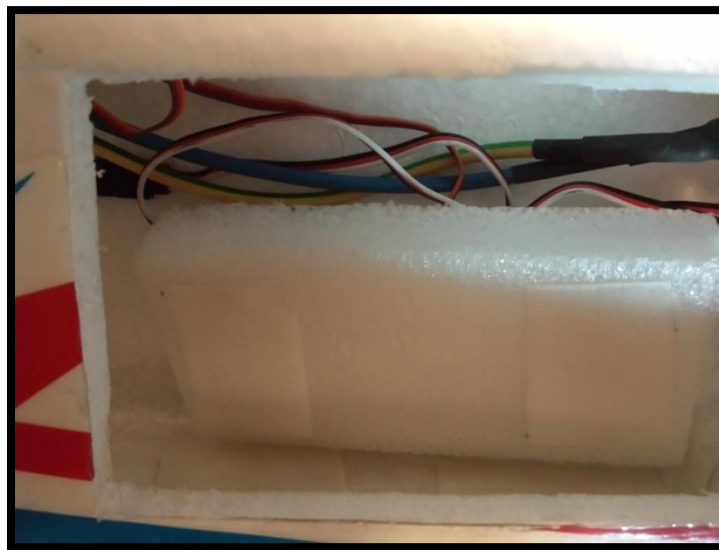


Figura 6.31. Colocación de velcro en base de la bodega y rectángulo de corcho.

Ahora uniremos el rectángulo de espuma con el de corcho utilizando silicona caliente.

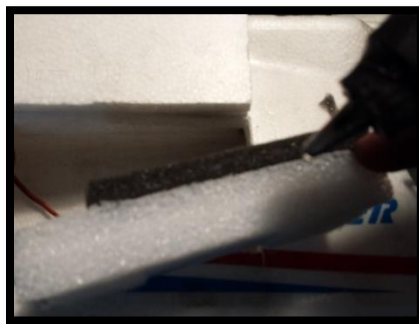


Figura 6.32. Unión de los dos rectángulos de la base.

Dejamos apartada la base y ahora conectamos el receptor de radio y los servos al APM, para ello será necesario utilizar alargadores de cable de servo.

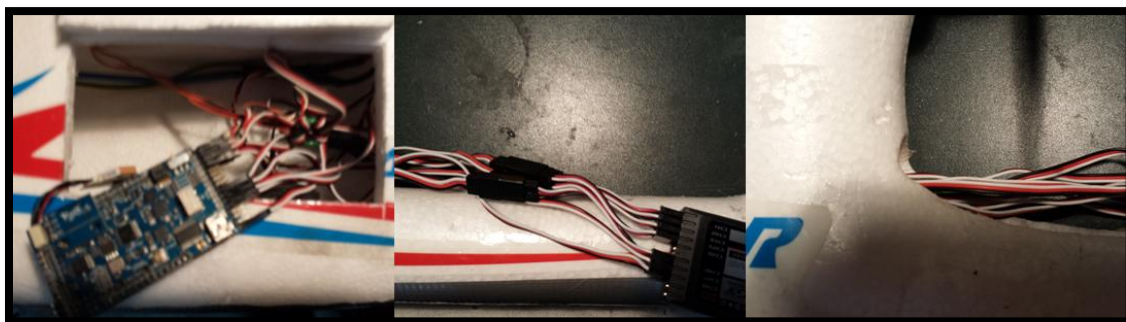


Figura 6.33. Conexión de rx y servos al APM.

Ahora fijaremos el APM a su base con cinta de doble cara como se ve en la siguiente figura, y después aseguraremos el conjunto con cinta adhesiva. Una vez hecho esto ya podemos colocar el conjunto en la bodega de carga.

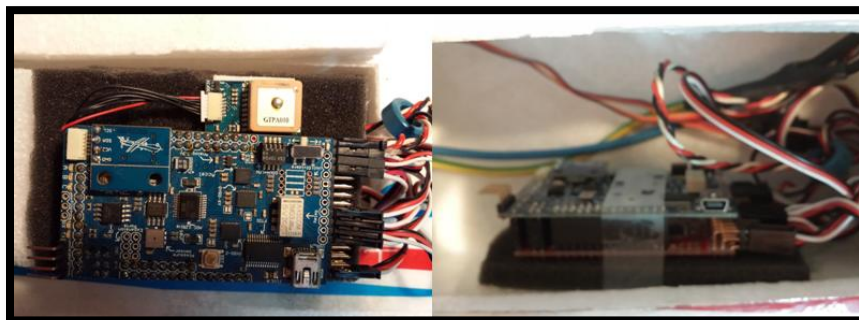


Figura 6.34. Colocación del APM en la bodega.

6.3. Pruebas de vuelo con APM.

En este apartado comprobaremos que el APM funciona correctamente y realizaremos todos los ajustes necesarios para que sea así.

6.3.1. Antes de volar.

Calibración en tierra.

Fijaremos el modo de vuelo en “Manual”, desde la emisora, ya que es el modo mas seguro de arrancar el sistema. Al iniciar el sistema se producirán una serie de movimientos, un movimiento al comenzar la calibración, dos movimientos a mitad de proceso y tres movimientos al completar el proceso.

Al alimentar la placa antes de cada vuelo, debemos dejar el avión inmóvil en el suelo y tan nivelado como sea posible (en posición de vuelo, lo que puede requerir levantar ligeramente la cola del avión), hasta que los tres leds de colores (A,B y C) dejen de parpadear (aproximadamente 30 segundos), eso significa que los giróscopos se han calibrado y que el avión esta listo para volar, a falta de que el GPS halla obtenido señal.

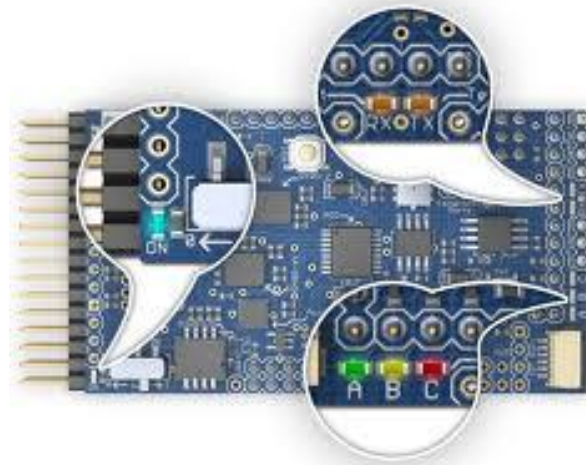


Figura 6.35. Leds APM.

Después de completar el proceso anterior debemos esperar a que el GPS obtenga señal para poder volar. Si no esperamos la posición de partida no será fijada correctamente y la calibración del altímetro barométrico será incorrecta. La obtención de la señal llevara al menos 2 minutos, mientras los cuales el led azul del GPS parpadeara, y cuando consiga la señal quedara fijo; al

ocurrir esto el led rojo del APM dejara de parpadear y quedara fijo también, si no ocurriera así debemos pulsar el botón de reset de la placa y al reiniciarse el led rojo deberá quedar fijo.

Antes de cada vuelo.

Antes de despegar sujetaremos la aeronave y cambiaremos a modo “Estabilizado”, y moveremos el avión para comprobar que las superficies de control se mueven de la forma correcta para devolver al avión a una posición estabilizada. Así nos aseguraremos de que no tengamos ningún canal invertido y que no se a cambiado accidentalmente ningún microinterruptor de la placa. También seria conveniente mover las superficies de control en modo manual y asegurarnos de que responden correctamente. Ambas operaciones seria conveniente repetirlas antes de cada vuelo ya que así se podrá evitar la causa de accidentes numero uno.

6.3.2. Primer vuelo.

Para comenzar este vuelo seleccionaremos el modo “Manual”, con el que despegaremos, y posteriormente cambiaremos al modo “Estabilizado” y comprobaremos que al soltar los mandos el avión queda nivelado. Haremos lo mismo con el modo “FBWA”, y en este modo además de comprobar que estabiliza el avión, deberemos notar que la respuesta a los mandos es mas suave que en el vuelo manual.

Si el vuelo en los dos modos anteriores es satisfactorio, comenzaremos a probar los modos “Loiter”, “Circle” y RTH.

Dependiendo de los resultados nos plantearemos la modificación de los parámetros como se explica en el apartado 6.1.7.

Los test de vuelo se realizaran en el campo de vuelo del Club de Aeromodelismo Mar Menor, situado junto a las antiguas Salinas de Lo Pollo en la pedanía de los Nietos (Cartagena).



Figura 6.36. Campo de vuelo del Club de Aeromodelismo del Mar Menor.

Vuelo n°6.

- Fecha: 06/08/2013.
- Hora: 9:15.
- Velocidad viento: 5 Km/h.

El vuelo comenzó despegando en modo manual y se mantuvo para elevar el drone a una altura de seguridad que permitiera probar por primera vez los distintos modos de vuelo, pero antes de terminar esta maniobra se perdió el control del avión por completo:

- Las superficies móviles quedaron en la misma posición en la que se encontraban antes de perder el control, Alerones: Posición neutra / Timón de dirección: Posición neutra / Timón de profundidad: Ligeramente en posición de descenso.
- El motor quedó al 50% de potencia aprox, tal y como se encontraba también antes de perder el control.
- En consecuencia de las dos circunstancias anteriores el avión perdió 100 metros aprox, de altura en pocos segundos, estrellándose de morro y quedando destrozado en la pista como se puede ver en la siguiente figura.



Figura 6.37. Accidente producido en vuelo n°6.

No se conoce aun una causa cierta del siniestro, pero parece ser que se produjo por un fallo en el APM, como podría ser un reseteo o falta de alimentación de la placa, ya que se podría descartar casi al 100% un problema en el sistema de radiocontrol por interferencias u otros ya que:

- La pérdida de control fue total y durante varios segundos, normalmente cuando se interrumpe el enlace por interferencias al ser un sistema digital se sigue teniendo mando sobre el sistema, aunque la respuesta pasa a ser mucho mas lenta. Además antes de iniciar el vuelo se comprobó el sistema y no se observaron anomalías.

- En caso de haberse producido una pérdida del enlace de radiocontrol, el APM debería haber tomado el control de la aeronave, mediante la activación automática del modo RTH, en cuyo caso el avión habría comenzado a describir círculo sobre el punto en el que perdió la señal de radiocontrol, para transcurrido un tiempo sin recuperar el control, volver al punto de despegue u Home.
- Además con total seguridad podemos decir que no se activo el modo RTH, ya que desde el momento de la pérdida de control el avión siguió una trayectoria fija.

Mas adelante descargaremos el contenido de la caja negra, los logs, que nos proporcionaran información vital para descubrir la causa del accidente y así poder evitarla en vuelos futuros. Además también analizaremos los daños producidos e intentaremos reconstruir la plataforma y sus subsistemas.

6.4. Operaciones Post-Vuelo.

6.4.1. Descarga de logs e interpretación.

Durante el vuelo el APM guarda unos logs o registros de este, lo hace en la memoria de registro de datos de 16Mb, creando dos tipos de archivos de extensiones “.tlog” y “.rlog”. Nosotros solo usaremos los archivos “.tlog”, ya que los “.rlog” son solo para la depuración del sistema y contiene toda la información que transita por el puerto serie del APM.

Pero para poder usar la información de los registros antes deberemos volcarla a un ordenador conectando el APM a través de USB. Para ello abriremos el MP y con el APM conectado, pincharemos en la pestaña “Terminal” y en esta iremos a “descargar log”, posteriormente tal y como se ve en la siguiente figura seleccionaremos “descargar todos los log”.

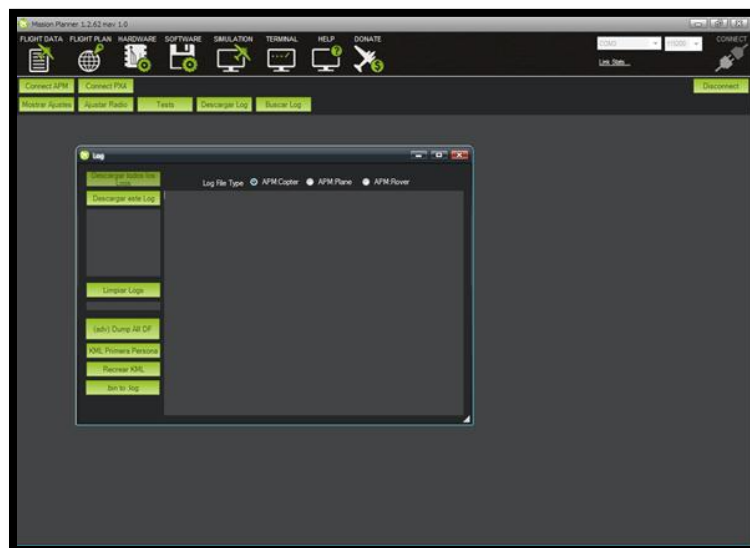


Figura 6.38. Descarga de logs.

Una vez descargados seleccionaremos “recrear KML”, lo que dará como resultado un archivo que podremos abrir con Google Earth y así reproducir el vuelo. Todos los archivos se guardaran en la subcarpeta “logs” de la carpeta “APM Planner”.

Hecho lo anterior, la forma mas fácil de analizar los archivos de registro es con la herramienta “Flight Data” del MP, en la que seleccionaremos “logs telemetría” y “cargar log”. Después pulsando “play” podremos reproducir el vuelo, visualizar en el mapa la posición, ver en los indicadores datos como la velocidad y altitud, ver en la barra de estado la salida de los sensores, visualizar el horizonte artificial, ...

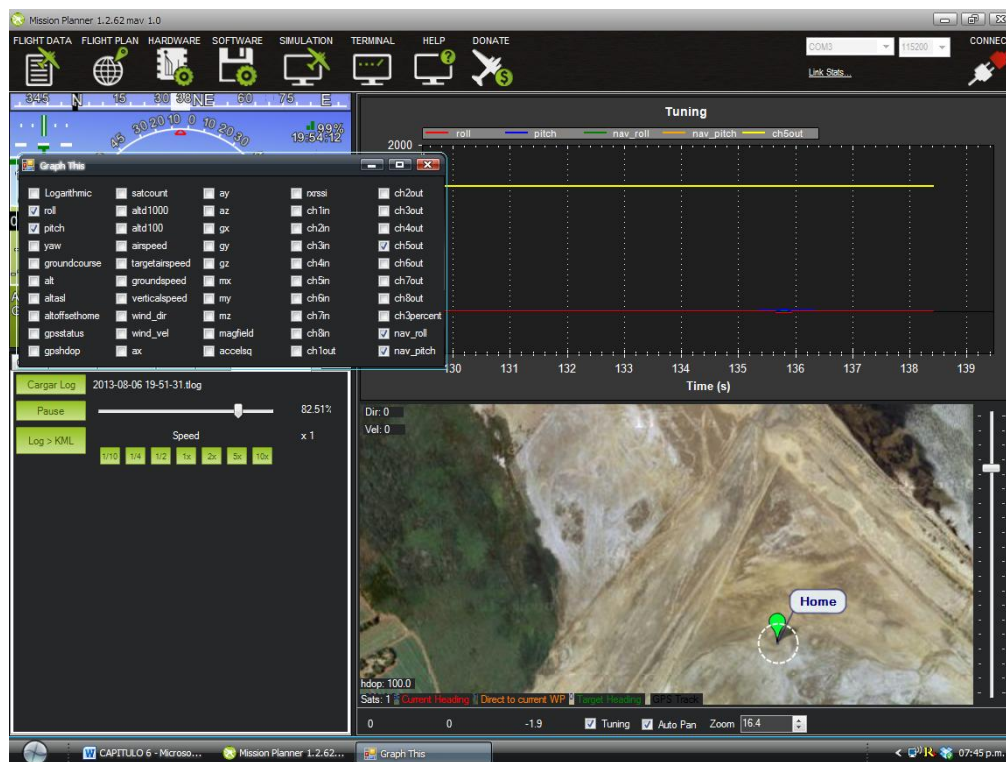


Figura 6.39. Reproducción de los registros.

Ahora nos queda visualizar el vuelo mediante Google Earth, para ello abriremos el archivo “.KML” del vuelo.

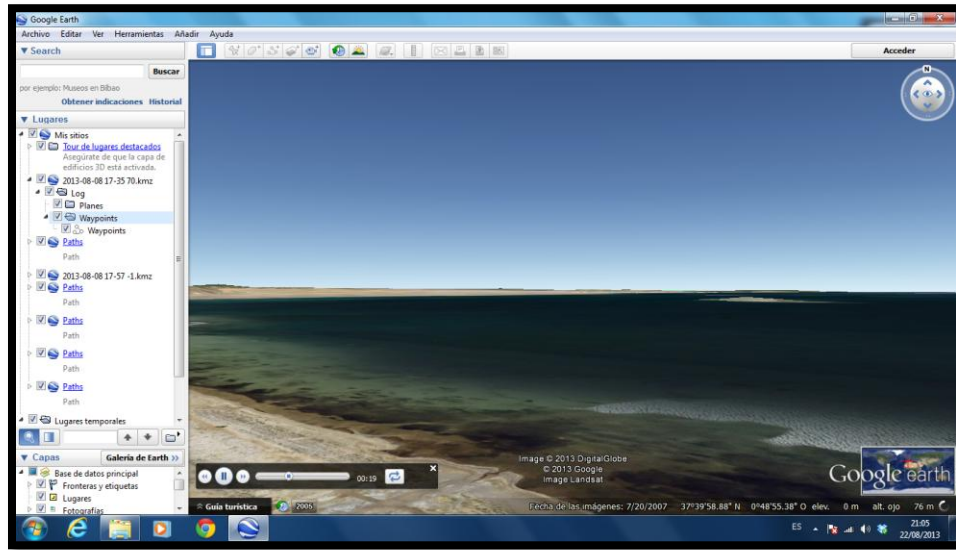


Figura 6.40. Visualización de logs en Google Earth.

6.4.2. Reparaciones.

Después de los vuelos es muy común tener que realizar alguna que otra reparación sobre el avión, en la mayoría de las ocasiones basta con reforzar la zona dañada con cinta americana, o pegar las fisuras con cianocrilato, epoxi o silicona caliente, pero en otras ocasiones la cosa se complica, como es el caso del estado en que quedo el avión tras el accidente producido en el vuelo nº6. Como se ve en la siguiente figura el avión quedo destrozado, con varios trozos de fuselaje desprendidos de este, pero además el coche quedo deformado.



Figura 6.41. Fuselaje tras accidente en vuelo nº6.

En estos casos lo primero es devolver las partes deformadas a su forma original, y esto lo conseguiremos sumergiéndolas en agua hirviendo durante unos minutos. El Elapor en que esta fabricado el fuselaje al igual que mucho materiales plásticos, vuelve a su forma original tras ser sometidos a una fuente de calor.



Figura 6.42. Recuperación de la forma original del fuselaje.

Tras realizar la operación anterior, con silicona caliente pegaremos los fragmentos del fuselaje.



Figura 6.43. Pegado de los fragmentos del fuselaje con silicona caliente.

Ahora ya debemos reforzar las zonas unidas con silicona caliente con cinta americana y varillas de fibra de carbono si fuera necesario.



Figura 6.44. Refuerzo con cinta americana de la parte frontal del fuselaje.

Además de lo anterior también sustituiremos los servos dañado y enderezaremos las varillas de transmisión.

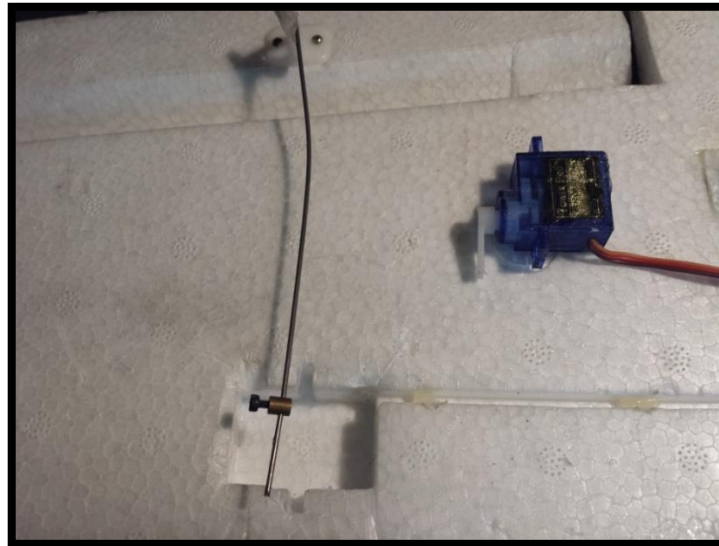


Figura 6.45. Sustitución de servo en alerón.

CAPITULO 7. Conclusiones y trabajos futuros.

En los últimos años el mundo UAV ha experimentado un crecimiento exponencial y lo más importante, ya no son solo una herramienta militar, sino que cada día están más presentes en el mundo civil. De aquí surge la idea de este proyecto, diseñar y construir un UAV basado en sistemas COTS.

El resultado del diseño a sido un modelo de 1030g de peso en vacío y 1624g en orden de vuelo, 1680mm de envergadura, con un alojamiento espacioso para la carga de pago y un consumo de crucero de solo 6 amperios. Además se comprobó que la mejor opción seria un aeromodelo desmontable de lanzamiento manual y aterrizaje sobre la panza.

Una vez llevado a cabo la selección de materiales y la construcción del aeromodelo, surge la cuestión de si este volara tal y como se ha previsto. Para ello se han realizado pruebas de vuelo divididas en tres partes:

1. Pruebas de vuelo en tercera persona: Estas pruebas se realizaron con el aeromodelo sin más equipamiento que el necesario para volar. El resultado de estas pruebas fue muy satisfactorio ya que se vio el comportamiento noble de aeromodelo, su consumo reducido,... y además pudimos realizar las primeras mejoras.
2. Pruebas de vuelo en primera persona (FPV): Para estas pruebas se añadió el equipo de video y se comprobó que este no interfiriera con el equipo de radiocontrol, además se pudo pilotar sin problemas con la ayuda de las videogafas.
3. Pruebas del sistema completo: Para estas últimas pruebas añadimos el último componente, el ArduPilot Mega, y procedimos con las pruebas que concluyeron con un accidente que acabo con el avión destrozado.

Estas pruebas nos han servido para valorar el potencial del equipo y sus deficiencias, que podrán servir como base de trabajos futuros, para ello se proponen las siguientes líneas de ampliación y desarrollo:

- Incorporación de un OSD, ya que es fundamental para el vuelo FPV, posiblemente la opción mas aconsejable para nuestro equipo sea el MinimOSD, ya que esta diseñado específicamente para el APM, y se conecta a este para obtener datos como coordenadas GPS, altitud, consumo, posición del aeromodelo en el espacio, voltaje de las baterías, .. Además este OSD es muy económico (sobre 20€).

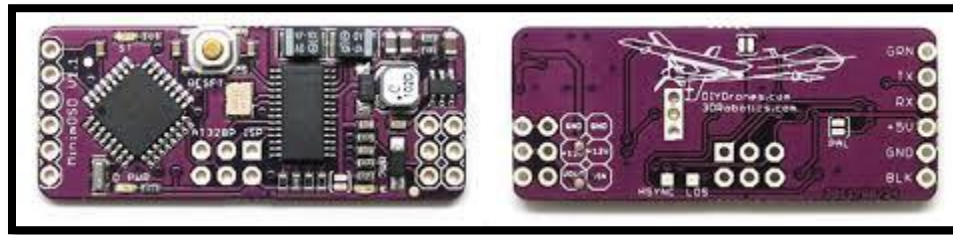


Figura 7.1. MinimOSD.

- Añadir en el código del APM una nueva función que nos ayude a detectar corrientes ascendentes mediante el barómetro incorporado, de esta forma podríamos estar mas tiempo en el aire, ya que aprovecharíamos las ascendencias para coger altura, e igualmente evitaríamos las corrientes descendentes.
- Incorporar un paracaídas accionado por un sistema independiente al APM, de modo que si este falla podamos recuperar el UAV.
- Existe la posibilidad de que el avión se extravié, por lo que seria conveniente equiparlo de una radiobaliza, o mejor aun aprovechando que nuestro equipo de radiocontrol no nos permite un gran alcance, cambiar el modulo emisor de nuestro equipo por un LRS, como por ejemplo el Orange OpenLRS, un sistema muy económico que ronda los 50€, es de código abierto, y además tiene una función mediante la cual en caso de perdida del enlace o al apagar la emisora, pasa a modo baliza, mediante el cual se emiten unos pulsos que nos permitirán mediante un walkie-talkie (tipo PMR) equipado de antena direccional, triangular la posición del aeromodelo.

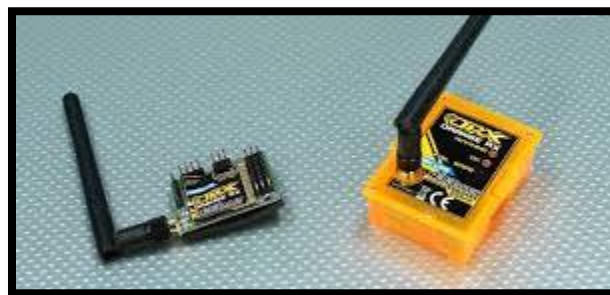


Figura 7.2. Orange OpenLRS.

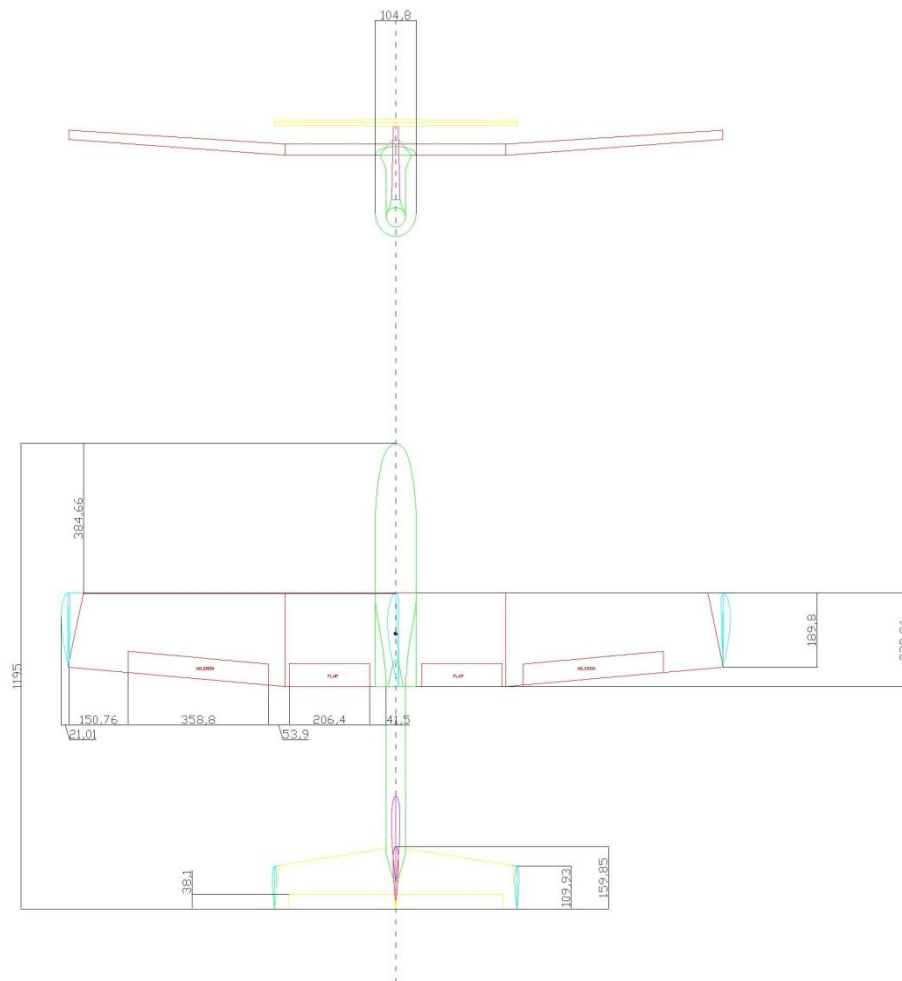
- También seria muy importante trabajar en una estación base, que sea lo mas compacta posible para su fácil transporte, equipada con antenas de seguimiento, una batería de gran capacidad, un ordenador, ...
- Como hemos visto el punto débil del aeromodelo es el fuselaje, tanto de cara a accidentes como en vuelo; seria interesante buscar un fuselaje mas rígido y resistente y posiblemente

la mejor opción sería la de sacar un molde del fuselaje y reproducirlo en fibra de carbono, un material muy ligero y resistente, pero muy caro.

BIBLIOGRAFIA:

- Manual ArduPilot Mega y Mission Planner:
<http://code.google.com/p/ardupilot-mega/wiki/Introduction>
- Meseguer Ruiz, Sanz Andrés. Aerodinamica básica. s.l. :ETSI Aeronáuticos (Universidad Politecnica de Madrid), 2005.
- <http://es.wikipedia.org>
- <http://www.aeromodelismo.es>
- <http://diydrones.com>
- <http://www.arduino.cc>
- <http://www.rcgroups.com>

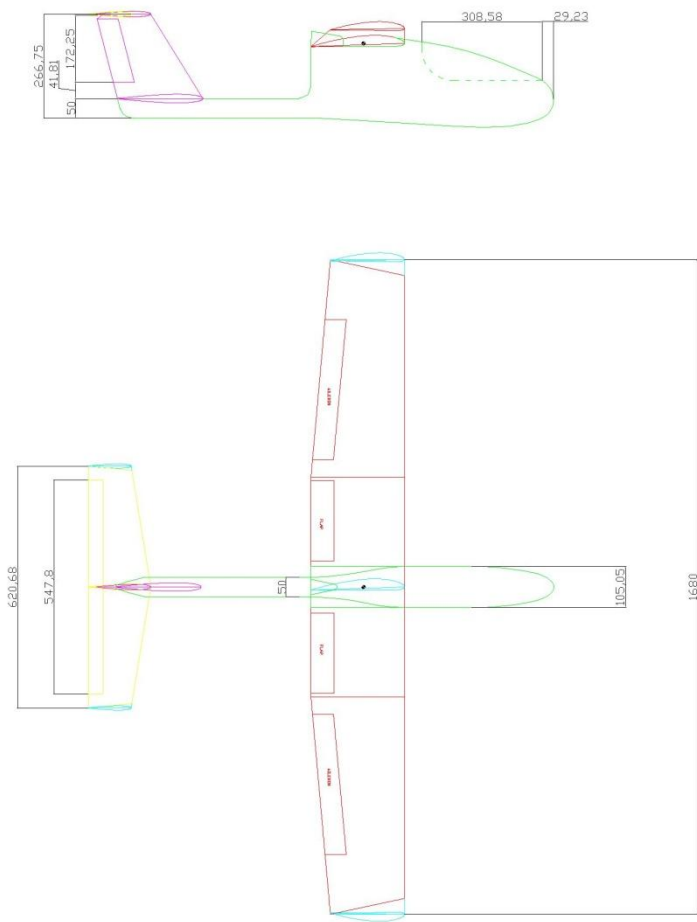
Anexo I: Planos SkyWalker.



Diseño y construcción de un avión no tripulado basado en sistemas y dispositivos COTS

Descripción

Anexo I - Vista de planta y frontal SkyWalker.



Diseño y construcción de un avión no tripulado basado en sistemas y dispositivos COTS

Descripción

Anexo I - 'Vista de planta y lateral SkyWalker' .

Anexo II: Esquema de conexiones.

